

ELIZABETE DO ROCIO SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E CONTEXTO  
GEOLÓGICO DAS ARGILAS DA MINA FAZENDINHA  
TIJUCAS DO SUL - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-  
Graduação em Geologia Exploratória, Setor de  
Ciências da Terra, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador principal:

Prof. Dr. João Carlos Biondi

Co-orientador:

Prof. Dr. Paulo Cesar Fonseca Giannini

CURITIBA

2000



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ELIZABETE DO ROCIO SANTOS**

**Caracterização mineralógica e contexto geológico das argilas da  
mina fazendinha Tijucas do Sul - PR**

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em  
Geologia, com área de concentração em Geologia Exploratória,  
da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada  
pelos Professores:**

  
**Presidente: Prof. Dr. João Carlos Biondi**

  
**Prof. Dr. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos**

  
**Prof. Dr. Mário Sérgio de Melo**

**Curitiba, agosto de 2.000**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE FOTOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE IMAGENS DE MEV.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS DE EDS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - O TEMA.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	2
1.3 - LOCALIZAÇÃO.....	2
<b>CAPITULO 2 – MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A NOMENCLATURA UTILIZADA: Argila, argilomineral e <i>ball clay</i> .....	7
2.2 - TRABALHOS DE CAMPO: Análise faciológica e amostragem.....	8
2.3 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	10
2.3.1 - Análises granulométricas.....	10
2.3.2 - Análises mineralógicas.....	11
2.3.2.1 - Difração de raios X.....	11
2.3.2.1.1 - Mineralogia total.....	11
2.3.2.1.2 - Cristalinidade da caulinita.....	12
2.3.2.2 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise química pontual (EDS).....	14
2.3.3 - Análises químicas.....	16
2.3.3.1 - Análise química para óxidos maiores.....	16
2.3.3.2 - Capacidade de troca catiônica (CTC).....	17
2.3.3.3 - Dosagem de matéria orgânica.....	18



<b>CAPÍTULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....</b>	<b>20</b>
3.1 - BREVE HISTÓRICO.....	20
3.2 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE TIJUCAS DO SUL.....	23
3.3 - COMPARAÇÃO COM A BACIA DE CURITIBA .....	27
3.4 - ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS.....	30
 <b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES.....</b>	 <b>35</b>
4.1 - CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA.....	35
4.1.1 - Fácies argila siltosa com turfa (ASt).....	35
4.1.2 - Fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng).....	36
4.1.3 - Fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS).....	36
4.1.4 - Fácies argila (A).....	37
4.1.5 - Fácies argila orgânica (Ao).....	37
4.1.6 - A gibbsita.....	38
4.2 - SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES ARGILA, SILTE E GRÂNULOS + NÓDULOS.....	52
4.3 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA.....	57
4.3.1 - Difração de raios X.....	57
4.3.2 - Cristalinidade da caulinita segundo índice de Hinckley (IC <sub>H</sub> ).....	74
4.3.3 - Mineralogia das argilas da Mina Fazendinha.....	78
4.3.4 - Relações entre a mineralogia e faciologia.....	82
4.3.5 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise química pontual (EDS).....	86
4.4 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA.....	106
4.4.1 - Análise química para óxidos maiores.....	106
4.4.2 - Relações entre geoquímica, fácies e as paleossuperfícies.....	108
4.4.3 - Capacidade de troca catiônica (CTC) e dosagem de matéria orgânica.....	116
 <b>CAPÍTULO 5 – OS DEPÓSITOS DA BACIA DE TIJUCAS DO SUL.....</b>	 <b>119</b>
5.1 - PROCESSOS DEPOSICIONAIS E ASPECTOS DIAGENÉTICOS.....	119
5.1.1 - Associações e sequência de fácies.....	119
5.1.2 - Interpretação.....	120
5.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DOS ARGILOMINERAIS E RELAÇÕES COM	

A ÁREA FONTE.....	127
5.3 - CORRELAÇÕES COM A BACIA DE CURITIBA.....	130
5.4 - CARACTERÍSTICA DAS ARGILAS SOB O ASPECTO TECNOLÓGICO.....	130
 <b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....</b>	 134
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	 137

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Localização geográfica da Mina Fazendinha e principais vias de acesso.....	04
<b>Figura 1.2</b> - Mapa geológico de Tijucas do Sul com localização da Mina Fazendinha.....	05
<b>Figura 1.3</b> - Imagem de satélite da Bacia de Tijucas do Sul com localização das principais mina.....	06
<b>Figura 2.1</b> - Representação esquemática da determinação do índice de cristalinidade de Hinckley .....	13
<b>Figura 3.1</b> - Coluna estratigráfica da Mina Fazendinha.....	24
<b>Figura 3.2</b> - Coluna estratigráfica da Mina AD-44 .....	25
<b>Figura 3.3</b> - Coluna estratigráfica da Mina Contenda .....	26
<b>Figura 4.1</b> - Mapa topográfico e mapa planimétrico da Mina Fazendinha.....	40
<b>Figura 4.2</b> - Seções colunares de frentes de lavra da Mina Fazendinha.....	41
<b>Figura 4.3 (a)</b> - Desenho esquemático de fácies na seção TA.....	42
<b>Figura 4.3 (b)</b> - Seção colunar TA, com indicação da composição das fácies .....	43
<b>Figura 4.4 (a)</b> - Desenho esquemático de fácies na seção TB.....	44
<b>Figura 4.4 (b)</b> - Seção colunar TB, com indicação da composição das fácies .....	45
<b>Figura 4.5 (a)</b> - Desenho esquemático de fácies na seção TC.....	46
<b>Figura 4.5 (b)</b> - Seção colunar TC, com indicação da composição das fácies .....	47
<b>Figura 4.6 (a)</b> - Desenho esquemático de fácies na seção TD .....	48
<b>Figura 4.6 (b)</b> - Seção colunar TD, com indicação da composição das fácies .....	49
<b>Figura 4.7 (a)</b> - Desenho esquemático de fácies na seção TF. ....	50
<b>Figura 4.7 (b)</b> - Seção colunar TF, com indicação da composição das fácies.....	51
<b>Figura 4.8</b> - Histogramas representativos das granulometrias predominantes. Seção TA .....	54
<b>Figura 4.9</b> - Histogramas representativos das granulometrias predominantes. Seção TB.....	55
<b>Figura 4.10</b> - Gráfico ternário da distribuição granulométrica das seções TA e TB.....	56
<b>Figura 4.11</b> - Difratogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da Seção TA. Fácies ASt.....	60
<b>Figura 4.12</b> - Difratogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da Seção TA. Fácies ASng.....	61

**Figura 4.13** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TA.

Fácies AS ..... 62

**Figura 4.14** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TA.

Fácies A ..... 63

**Figura 4.15** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TB.

Fácies ASng ..... 64

**Figura 4.16** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TB.

Fácies AS, ASng e ASt ..... 65

**Figura 4.17** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TC.

Fácies ASt ..... 66

**Figura 4.18** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TC.

Fácies ASng.e.AS ..... 67

**Figura 4.19** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TC.

Fácies A ..... 68

**Figura 4.20** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TD.

Fácies ASng ..... 69

**Figura 4.21** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TD.

Fácies A ..... 70

**Figura 4.22** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TD.

Fácies A0 ..... 71

**Figura 4.23** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da seção TF.

Fácies ASng ..... 72

**Figura 4.24** - Difrátogramas de raios X de amostra total e fração argila de amostra representativa da

seçãoTF. Fácies Ao ..... 73

**Figura 4.25** - Seção colunar TA com representação gráfica do Índice de Hinckley ..... 75

**Figura 4.26** - Seção colunar TB com representação gráfica do Índice de Hinckley ..... 76

**Figura 4.27** - Seção colunar TC com representação gráfica do Índice de Hinckley ..... 77

**Figura 4.28** – Distribuição dos teores de quartzo e da caulinita na seção TA ..... 80



<b>Figura 4.29</b> – Distribuição dos teores de quartzo e da caulinita na seção TC .....	81
<b>Figura 4.30</b> - Gráficos binários dos principais componentes mineralógicos. Seção TC .....	83
<b>Figura 4.31</b> - Gráficos binários dos principais componentes mineralógicos. Seção TA, TB, TC, TD e TF .....	84
<b>Figura 4.32</b> - Gráfico ternário dos principais componentes mineralógicos das seções estudadas .....	85
<b>Figura 4.33</b> - Gráficos binários dos principais componentes químicos. Seção TA .....	110
<b>Figura 4.34</b> - Gráficos binários dos principais componentes químicos. Seção TC .....	111
<b>Figura 4.35</b> - Gráficos ternários dos principais componentes químicos das seções estudadas .....	112
<b>Figura 4.36</b> - Gráficos ternários dos principais componentes químicos das seções estudadas .....	113
<b>Figura 4.37</b> - Distribuição vertical dos teores dos principais óxidos da seção TA .....	114
<b>Figura 4.38</b> - Distribuição vertical dos teores dos principais óxidos, com indicação das paleossuperfícies Seção TC .....	115
<b>Figura 4.39</b> - Gráficos de linhas que relacionam a profundidade com o pH e a CTC .....	118
<b>Figura 5.1</b> - Esquema da relação entre a distribuição horizontal e vertical das fácies .....	124
<b>Figura 5.2</b> - Difratoograma de raios X representativo da gibbsita .....	126
<b>Figura 5.3</b> - Perfil topográfico-geológico, passando pela Mina Fazendinha .....	129
<b>Figura 5.4</b> - Quadro geológico e tectônico do RCSB com localização da Bacia de Tijucas do Sul .....	131

## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 3.1</b> - Visão panorâmica da porção Sul da Mina Fazendinha .....	33
<b>Foto 3.2</b> - Visão geral do relevo aplainado da Bacia de Tijucas do Sul a oeste da Mina Fazendinha .....	33
<b>Foto 3.3</b> - Aspecto panorâmico da Mina fazendinha com exposição de frentes de lavra .....	34
<b>Foto 3.4</b> - Área de reconstrução ambiental em terrenos da Mina, já totalmente lavrados .....	34
<b>Foto 4.1</b> - Aspecto geral dos níveis seixosos encontrados esporadicamente nos arredores da Mina Fazendinha.....	39
<b>Foto 4.2</b> - Disposição e forma de ocorrência dos “anéis de Liensengang” nas fácies do depósito .....	39
<b>Foto 4.3</b> - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TA .....	42
<b>Foto 4.4</b> - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TB .....	44
<b>Foto 4.5</b> - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TC .....	46
<b>Foto 4.6</b> - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TD .....	48
<b>Foto 4.7</b> - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TF .....	50
<b>Foto 5.1</b> - Aspecto geral da fácies com nódulos tubulares subconsolidados de gibbsita.....	125
<b>Foto 5.2</b> - Aspecto de detalhe dos nódulos tubulares subconsolidados de gibbsita.....	125

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 4.1</b> - Resultados das análise granulométricas da seção TA e TB .....	53
<b>Tabela 4.2</b> - Valores normativos dos principais componentes mineralógicos das seções .....	78
<b>Tabela 4.3</b> - Resultados das análises químicas para óxidos maiores.....	107
<b>Tabela 4.4</b> - Valores de componente químicos do meio.....	117
<b>Quadro 5.1</b> - Resumo da caracterização faciológica e dos processos deposicionais associados .....	121
<b>Quadro 5.2</b> - Dados químicos composicionais comparativos de argilas <i>ball clays</i> .....	133
<b>Quadro 5.3</b> - Dados mineralógicos comparativos de argilas <i>ball clays</i> .....	133

## LISTA DE IMAGENS DE MEV

<b>Imagem 4.1</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aspecto geral da fácies argila siltosa, com presença de nódulos e grânulos. Amostra TA-01. (10.000 X).....	87
<b>Imagem 4.2</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Quartzo detrítico com figuras triangulares de crescimento/dissolução. Amostra TA-01. (1.600 X) .....	89
<b>Imagem 4.3</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Detalhe do quartzo detrítico com destaque das figuras de crescimento/dissolução. Amostra TA-01. (3.700 X) .....	90
<b>Imagem 4.4</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Clasto de mica, com feições de deslocamento das bordas. Amostra TA-01. (7.700 X) .....	91
<b>Imagem 4.5</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aspecto geral da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos. Amostra TA-02. (6.650 X) .....	92
<b>Imagem 4.6</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Fácies argila siltosa, contendo grãos de quartzo e caulinita finamente cristalizada. Amostra TA-03. ( 3.300 X) .....	94
<b>Imagem 4.7</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos, com presença de cristais de anatásio. Amostra TA-04. (30.000 X).....	97
<b>Imagem 4.8</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aspecto geral da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos. Amostra TA-06. (351 X) .....	99
<b>Imagem 4.9</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Fácies argilosa caulinitica com rara ocorrência de cristais pseudo hexagonais a hexagonais formando incipientes estruturas “em acordeon”. Amostra TA-08. (15.500 X).....	104
<b>Imagem 4.10</b> - Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Caulinita pseudo hexagonal, de ocorrência esporádica na fácies argila. Amostra TA-08. (10.700 X) .....	105



## LISTA DE GRÁFICOS DE EDS

<b>EDS 4.1</b> - Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-01, referente à imagem 4.1.....	88
<b>EDS 4.2</b> - Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-02, referente à imagem 4.5.....	93
<b>EDS 4.3 (1)</b> - Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-03, referente à imagem 4.6.....	95
<b>EDS 4.3 (2)</b> - Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-03, referente à imagem 4.6.....	96
<b>EDS 4.4</b> - Microanálise química semi-quantitativa da amostra TA-04, referente à imagem 4.7.....	98
<b>EDS 4.5 (1)</b> - Microanálise química semi-qualitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 1 da imagem 4.8.....	100
<b>EDS 4.5 (2)</b> - Microanálise química semi-qualitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 2 da imagem 4.8.....	101
<b>EDS 4.5 (3)</b> - Microanálise química semi-qualitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 3 da imagem 4.8.....	102
<b>EDS 4.5 (4)</b> - Microanálise química semi-qualitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 4 da imagem 4.8.....	103

## RESUMO

A Bacia de Tijucas do Sul, de idade possivelmente eoceno-zóica, localiza-se na porção leste paranaense, a uma distância aproximada de 60 km da cidade de Curitiba, Estado do Paraná. Nesta bacia, em áreas da localidade de Tabatinga, encontram-se os depósitos analisados nesta Dissertação.

Os sedimentos argilosos e argilo-siltosos estudados formam os depósitos da Mina Fazendinha, lavrados devido a suas propriedades adequadas para uso em cerâmica branca. O objetivo maior deste estudo foi a caracterização faciológica, mineralógica e química destes depósitos, com ênfase aos argilominerais e a seu contexto geológico de formação.

No levantamento de seções colunares nas frentes de lavra, foi realizada a amostragem com base na subdivisão do preenchimento sedimentar em cinco fácies: fácies argila siltosa com turfa (ASt), fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng), fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS), fácies argila (A) e fácies argila orgânica (Ao). Os nódulos são composicionalmente formados por gibbsita e apresentam maior concentração no topo das seções, numa faixa em torno de dois metros abaixo da fácies argila turfosa e da cobertura vegetal. Horizontes com gibbsita ocorrem, também, nas partes medianas da coluna estratigráfica. Os grânulos de quartzo e feldspato apresentam formas indicativas de imaturidade sedimentar e tendência para flutuação na matriz pelítica. Desse modo, o transporte nas fácies em que eles ocorrem teria sido rápido e/ou curto, por ação de fluxos gravitacionais em áreas de desníveis topográficos acentuados. Todas as fácies descritas formam lentes e camadas subtabulares associadas aos depósitos quaternários mais novos do rio da Várzea, na porção central da Bacia de Tijucas do Sul, PR.

As argilas são essencialmente de origem detrítica, formadas por deposição em sistema de leques aluviais e planícies de inundação cujas fontes foram as rochas gnáissico-migmatíticas do embasamento e, subordinadamente, os granitos alcalinos proterozóicos localizados nas bordas noroeste-sudoeste e sudeste da Bacia de Tijucas do Sul. A deposição ocorreu em ao menos duas etapas diferentes, separadas por paleossuperfícies.

Os argilominerais da Mina Fazendinha foram caracterizados por diferentes métodos, incluindo análises granulométricas, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise química pontual (EDS), análise química por fluorescência de raios X, avaliação da capacidade de troca catiônica (CTC) e do grau de saturação (V) e dosagem de

matéria orgânica. Os resultados foram discutidos do ponto de vista da identificação mineralógica e associados a aspectos de gênese e formação do depósito.

As análises indicaram predomínio da caulinita e quantidades menores de quartzo e illita. A gibbsita é muito freqüente e, possivelmente, responsável junto com a matéria orgânica, por parte das propriedades tecnológicas dessas argilas, principalmente pela refratariedade.

A caulinita caracteriza-se predominantemente por pequenas partículas irregulares com baixa cristalinidade (diâmetros menores que 0,5  $\mu\text{m}$ ). Placas pseudohexagonais de boa cristalinidade e diâmetro maior que 1  $\mu\text{m}$  possuem ocorrência apenas esporádica. A análise com microscopia eletrônica não revelou a presença de halloysita.

A composição química obtida, com valores majoritários de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , é compatível com o predomínio da caulinita. Os baixos teores de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  são indicativos da presença rara da illita, conforme confirmado através de análises de raios X.

A determinação do pH, da CTC e do V, em amostras representativas das fácies, indicou baixa concentração em cátions caracterizadas por condições de meio ácido e dessaturado em bases trocáveis. Processos contínuos de hidrólise favoreceram a formação de paragênese caulinita-gibbsita no depósito. Os processos de hidrólise teriam sido favorecidos por chuvas abundantes, em regime pluviométrico análogo ao existente hoje na região.

A Mina Fazendinha contém argilas com características composicionais (químicas e mineralógicas) e propriedades tecnológicas representativas de um depósito composto por argilas tipo *ball clays*, similares em vários aspectos ao depósito São Simão, SP.

## ABSTRACT

The Tijucas do Sul Basin, with probable Eocenoic age, is located at the eastern Paraná State, 60 km from Curitiba. The sedimentary deposits that are the object of Dissertation occur at the central area of this basin, in the surroundings of Tabatinga village.

The deposits are predominantly clays and silty clays and constitute the raw material of Fazendinha Mine, in exploitation for white ceramic industry. The main aim of these study is the faciological, mineralogical and chemical characterization on these deposits, with emphasis on the clay minerals and their geological context of genesis.

In the detailed studies of mining fronts, five sedimentary facies were recognized, described and sampled: silty clay with peat (ASt), silty clay with abundant nodules and granules (ASng), silty clay with scarce nodules and granules (AS), clay (A) and clay rich in organic matter (Ao). The nodules are mineralogically constituted by gibbsite and shows concentration in the upper part of columnar sections, across a thickness range of two meters just below the silty clay with peat facies and vegetal covering. The quartz and feldspar granules shows shapes indicative of sedimentary immaturity and tendency to fluctuation in the muddy matrix. These aspects are evidences of fast and/or short transport by debris flows, on areas of abrupt paleorelief. The five facies form lens and subtabular layers, associated to Varzea river Quaternary alluvial deposits.

The origin of the Tijucas do Sul's clays is mainly detrital, with deposition attributed to alluvial fans and distally associated flood plains. The source rocks were gnaisses and migmatites from the Proterozoic basement, and secondarily, Proterozoic alkaline granites located on west and southeast borders of the Tijucas do Sul Basin.

The clay minerals from the Fazendinha Mine have been characterized by grain size analyses, X ray diffraction, scanning electron microscopy with energy dispersive spectrometer (EDS), X ray fluorescent analytical geochemistry, cationic exchange capacity analysis (CTC), saturation grade analysis and organic matter dosage. The results have been interpreted with respect to the mineralogy identification and depositional-diagenetic aspects.

The analyses indicate kaolinite as the predominant mineral, besides low contents of quartz and illite. The gibbsite is much frequent and possibly responsible, together organic matter, by refractory character and other important technological properties of these clayey deposits.

The kaolinite is characterized by small particles of low crystallinity (lower than 0,5  $\mu\text{m}$  length). Pseudo hexagonal well-crystallized flakes, greater than 1  $\mu\text{m}$  in diameter, have sporadic occurrence

The chemical analyses indicate that the clays have high content of silica and alumina and low content of alkaline cations. The composition is coherent with the kaolinite predominance, with subordinate illite, and permits to interpret acid and unsaturated (in terms of interchangeable basis) conditions with continuous hydrolysis process until gibbsite formation. The hydrolysis process would be determined by abundant rains, in analogy with the today's pluvial climate.

The Fazendinha Mine include clays with chemical and mineralogical composition and technological properties characteristic of *ball clays* and similar to that from São Simão (São Paulo State).



## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com a participação de várias pessoas e, a todas elas, quero expressar a minha gratidão.

Ao Prof. Paulo Cesar Fonseca Giannini do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental da Universidade de São Paulo (GSA-USP) e Co-orientador do trabalho, agradeço pela atuação marcante na co-orientação geológica e pelas incansáveis correções e ensino do português, durante todo o tempo em que durou este trabalho. Por, muitas vezes, ter conseguido, despretensiosamente, mostrar o lado poético e deslumbrante da pesquisa. A eloquência e lucidez na condução das idéias, quase sempre fizeram tornar as discussões mais empolgantes, contagiantes e calorosas "...este seu jeito de achar que tudo pode ser maravilhoso...".

Ao Prof. Nelson Chodur, pela leitura e apreciação do texto, sugestões e estímulo incondicional a este trabalho.

Ao amigo Leandro Donatti (pós-graduando da IG-USP), pela constante colaboração nos problemas de informática e por ter-me disponibilizado todo o seu material de trabalho nas horas em que mais necessitava. À Anne (Sra Leandro), pela gentil acolhida em seu escritório, durante a fase de impressão final do trabalho.

Aos técnicos Luiz Zenn e Luciana dos Laboratórios do Centro Tecnológico de Estudos Cerâmicos (CETEC) – Laboratório de Análises de Minerais de Rochas (LAMIR) da Universidade federal do Paraná (UFPR), pelas análises químicas e de difração de raios X.

À técnica Shirley - Laboratório de Sedimentologia (UFPR), pelas análises granulométricas e confecção de lâminas de minerais pesados.

Ao Laboratório de solos do Departamento de Agronomia da UFPR, pelas análises e dosagens químicas.

À Mineração Tabatinga, nas pessoas Simone Santos, Daniel Silva e demais funcionários, pela receptividade durante a realização de estágio na Mina e participação nos ensaios laboratoriais de rotina na empresa.

A Isaac Sayeg do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Laboratório de MEV da Universidade de São Paulo (USP), pela obtenção das imagens e análises ao EDS.

Ao Prof. Daniel Atêncio (GMG-USP) pela observações na interpretação das imagens de MEV.

Ao secretários Edison (ex) e Jefferson (atual) pela cooperação demonstrada.

Aos colegas da pós-graduação: João Bosco, Rossano, Fernando e Sandra pelo companheirismo e cooperação diversas.

Ao colega Vitoldo e ao Prof Irineu do Departamento de Física da UFPR, pelos esclarecimentos nos estudos de raios X.

À Thiana (minha mãe), à minha irmã Solange e ao meu queridíssimo sobrinho Felipe, por tanta compreensão, amor e carinho, incondicionalmente dispensados. A participação destas pessoas tão queridas, nesta fase da minha vida, foi primordial e à elas dirijo os mais sinceros agradecimentos.

À Tosca, Grígia e Steffi Graffi...pelos ensinamentos noutra frequência de vibração.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo e à FUNPAR por ter garantido fundos para o pagamento parcial de análises e suprimento de material didático.

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - O TEMA

Esta dissertação teve como enfoque principal os sedimentos da planície do rio da Várzea que formam os depósitos da Mina Fazendinha, lavrada pela Mineração Tabatinga, na Bacia de Tijucas do Sul, Estado do Paraná. A descoberta, em 1980, da alta plasticidade deste material de natureza predominantemente argilosa, despertou o interesse para seu uso como matéria-prima principalmente na indústria de cerâmica branca. A Mineradora Tabatinga foi quem executou os trabalhos pioneiros de caracterização tecnológica com vistas ao aproveitamento industrial das argilas na região.

As argilas de Tijucas do Sul são consumidas principalmente pela indústria cerâmica branca, por conferirem plasticidade e resistência mecânica necessárias e adequadas às massas cerâmicas. A exploração dos depósitos é favorecida pela ocorrência de grandes reservas de material com boa qualidade para uso industrial cerâmico, localizadas em região próxima a centros urbanos e a seus maiores consumidores. Tais depósitos suprem atualmente grande parte da indústria de cerâmica branca do Sul do Brasil, que fabricam louças de mesa e sanitária.

As propriedades físicas apresentadas por argilas da região, tais como alta plasticidade, boa resistência mecânica e cores pós-queima brancas ou claras, em temperaturas superiores a 1000°C, têm grande relevância na lavra dos depósitos em estudo, dada a demanda de matéria-prima desta natureza para a indústria de cerâmica branca no país. Aumond (1993) priorizou as propriedades físicas como a alta plasticidade e as cores de queima branca ou claras para as argilas de Tijucas do Sul, classificando-as como similares às de uma *ball clay*, fato que tem despertado a atenção dos consumidores para este tipo de matéria-prima.

A localização destes depósitos em região de clima úmido, com chuvas abundantes, explica a existência de meio altamente lixiviante com presença predominante da caulinita e associação caulinita-gibbsita nas porções mais superficiais das seções.

O trabalho aqui proposto ateve-se à uma maior elucidação da composição mineralógica e química dos sedimentos da bacia, abordados num contexto geológico de deposição e alteração pós-deposicional dos materiais. O estudo de aspectos genéticos e de processos deposicionais de argilas cauliniticas com as propriedades das de Tijucas do Sul; possibilita a caracterização de modelos para este tipo de depósito e auxilia no fornecimento de critérios para a descoberta de novos depósitos com características similares.

## **1.2 - OBJETIVOS**

Caracterização das argilas da Mina Fazendinha e interpretação dos fatores genéticos associados, compreendendo:

- Análise da faciologia dos sedimentos
- Caracterização mineralógica e química das argilas
- Interpretação dos processos geradores das argilas

## **1.3 - LOCALIZAÇÃO**

Este trabalho foi desenvolvido nos depósitos de argilas pertencentes à mina Fazendinha, localizada na região de Tabatinga, município de Tijucas do Sul (PR).

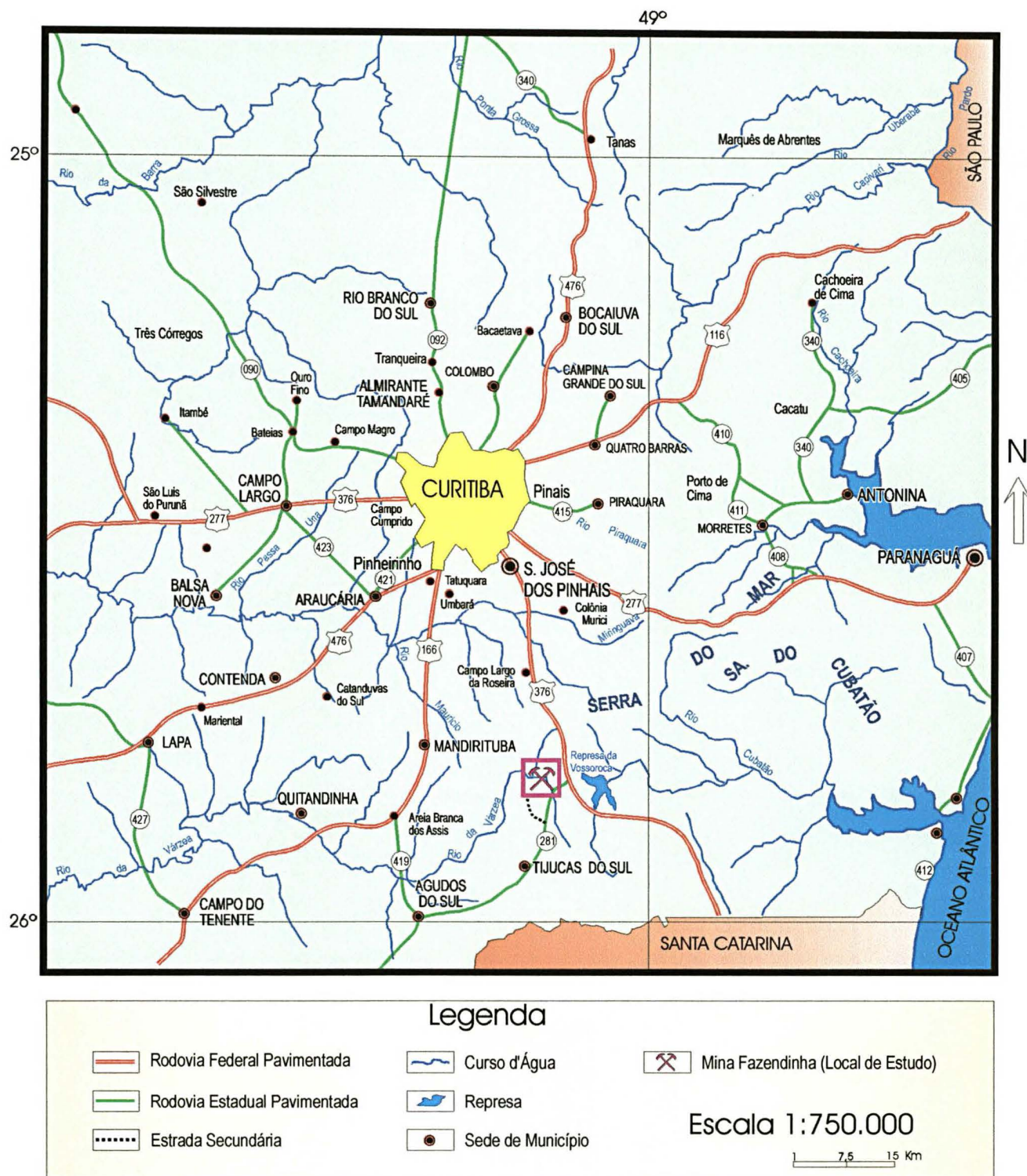
Tijucas do Sul situa-se a SSE da cidade de Curitiba (PR) e a uma distância aproximada de 60 km da mesma. O acesso à mina Fazendinha é realizado por estrada secundária, a partir do



quilômetro 9 da rodovia estadual (PR 281) que liga a BR 376 à cidade de Tijucas do Sul. O trevo de entrada para Tijucas do Sul localiza-se no quilômetro 45 da BR 376, sentido Curitiba - Joinville (SC) (Figura 1.1).

Os depósitos de argila fazem parte da Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul, em áreas banhadas pelo rio da Várzea e seus afluentes. Esta bacia apresenta uma área aproximada de 180 km<sup>2</sup> e drenagem principal com caimento predominante para sudoeste (Figuras 1.2 e 1.3).

A região de Tijucas do Sul encontra-se muito próxima à serra do Mar e sob a influência direta de chuvas de relevo. A extração mineral, essencialmente de argilas, constitui a atividade econômica dominante da região. Secundariamente, existem áreas agrícolas e de pastagens, bem como ocorrências localizadas de reflorestamento e de reconstituição ambiental.



**Figura 1.1** - Mapa de localização geográfica e principais vias de acesso à Mina Fazendinha.



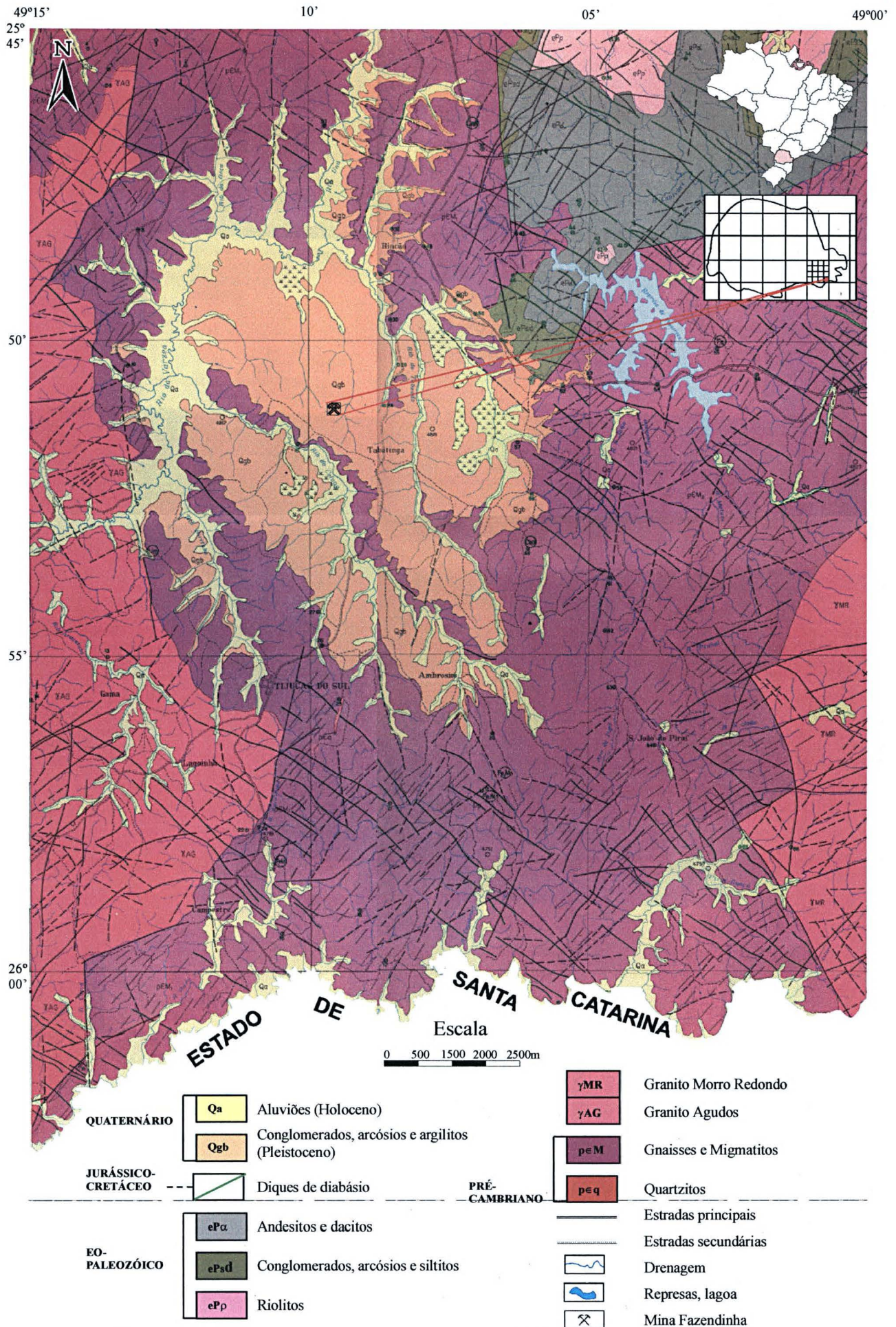
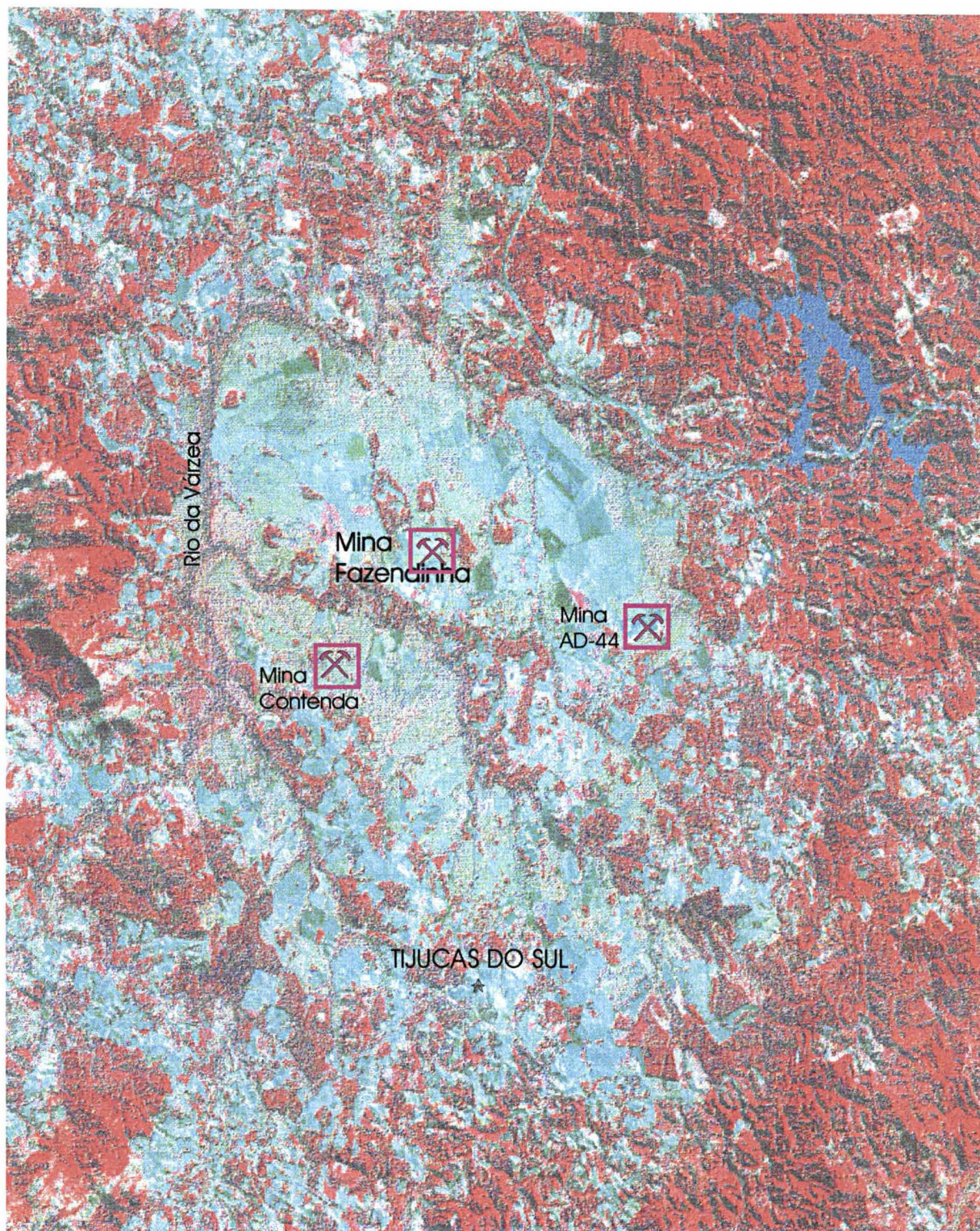


Figura 1.2 - Mapa geológico de Tijucas do Sul, segundo Trein *et al.* (1969).





0 1 2 3 km

**Figura 1.3** - Imagem de satélite da Bacia de Tijucas do Sul (falsa cor esverdeada) com localização das mais importantes minas de argilas. Escala 1:100.000



## CAPÍTULO 2 - MÉTODOS

### 2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A NOMENCLATURA

#### UTILIZADA: Argila, argilomineral e *ball clay*

Um primeiro aspecto a ser esclarecido antes de qualquer estudo sobre as argilas é o da nomenclatura. A esse respeito, deve-se destacar inicialmente a diferença existente entre os conceitos de mineral de argila e mineral da fração granulométrica argila. Esta fração é considerada geralmente como a fração composta pelos grãos de diâmetro menor que  $2\mu$ , ou seja, 0,002mm (escala de Atterberg). Existem porém muitas outras escalas, também usuais, que fornecem valores pouco diferentes para o limite superior da fração granulométrica argila, conforme demonstra Souza Santos (1989) em um quadro comparativo. Limites de  $4\mu$  (escala de Wentworth),  $1\mu$  (valor adotado por alguns autores russos) e  $5\mu$  (este adotado por alguns norte-americanos) são exemplos de outros valores adotados para definir a granulometria das argilas. O importante é salientar que o termo “mineral da fração argila” refere-se apenas a um mineral de dimensões menores que um certo limite adotado, enquanto que o termo mineral de argila, no sentido rigorosamente mineralógico, diz respeito a um silicato de alumínio hidratado, nos quais incluem-se grupos como caulinitas, ilitas, esmectitas, cloritas e vermiculitas. Uma boa proposta de convenção afim de se evitar confusões de terminologia é se referir aos primeiros, isto é, ao termo no seu sentido granulométrico, falando simplesmente em argilas.

Para este trabalho, o termo mineral de argila será adotado quando se referir a partículas com diâmetro menor que 0,004mm segundo a escala de Wentworth (1922) e o termo argilomineral será usado quando se tratar dos componentes mineralógicos dos filossilicatos que compõem os depósitos argilosos abordados.

Em se tratando de *ball clays*, as considerações quanto às propriedades físicas cerâmicas e composição químico-mineralógica são específicas para este grupo de argilas. Grim (1962), Souza Santos & Souza Santos (1966), Souza Santos (1966), Souza Santos & Santini (1968), Souza Santos & Cruz (1971), Phelps (1972), Murray (1982), Wilson (1983) e Souza Santos (1989) consideram primordiais a alta plasticidade, a elevada refratariedade e as cores branca ou claras pós-queima em temperaturas superiores a 1000°C para argilas deste grupo. Atualmente, há consenso que essas argilas sejam essencialmente caulínicas com maior ou menor grau de cristalinidade. Um meio de formação e deposição que favoreça presença de pequenos teores de mica ilita esmectita, de granulometrias finas e homogeneamente distribuídas, contribuem para a melhoria das propriedades plásticas desejáveis neste material. A matéria orgânica aumenta ainda mais a plasticidade, sendo considerada como constituinte constante em depósitos de *ball clays*. A presença da paragênese caulinita-gibbsita interfere diretamente nos índices de refratariedade, favorecendo o aumento desta característica cerâmica.

## **2.2 - TRABALHOS DE CAMPO: Identificação de fácies e amostragem**

As atividades de campo visaram: (a) obter amostras para a caracterização mineralógica e composicional das argilas plásticas de Tijucas do Sul e (b) apoiar os estudos interpretativos de processos geoquímicos de formação de minerais e condicionantes geológicos à deposição dos materiais.

Os sedimentos encontram-se expostos nas frentes de lavra, o que permite a visualização de seções verticais com espessura total de até 12 metros. Toda a espessura de sedimentos lavrados encontra-se exposta. Foram coletadas 47 amostras distribuídas em cinco seções colunares de frentes de lavra.

Para a caracterização geológica da região de deposição das argilas de Tijucas, tomou-se como base o mapa geológico da região, elaborado pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, em 1969, na escala 1:70.000, e o mapa geológico/tectônico regional do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, segundo Melo *et al.* (1985) e Riccomini *et al.* (1996) *apud* Sant' Anna (1999), a folha topográfica de Tijucas do Sul (SG-22-X-D-IV-4, MI 2857-4, IBGE, 1992, escala 1:50.000), e o mapa planimétrico da mina Fazendinha, escala 1:2.000, confeccionado pela mineração Tabatinga em 1987.

Nos levantamentos de frente de lavra, foram descritas paredes de cavas em pontos da mina que melhor representavam os depósitos. Em seguida, foi realizada a coleta sistemática de amostras para análises granulométricas, mineralógicas e químicas. Para a descrição dos sedimentos, levaram-se em consideração as suas características faciológicas (composição, cor, textura, estruturas sedimentares e geometria dos corpos) e a sua posição estratigráfica. Em cada local amostrado, confeccionaram-se seções detalhadas incluindo a individualização e a caracterização de fácies. O critério descritivo de análise faciológica teve como base os trabalhos de Reading (1986), Riccomini (1989), Riccomini *et al.* (1996), Walker (1992), Melo (1990 e 1995) e Sant'Anna (1999). O termo fácies foi adotado neste trabalho a partir das definições apresentadas por aqueles autores, porém com seu sentido ampliado, para designar as unidades descritivas passíveis de expressarem processos deposicionais e/ou diagenéticos. Esta adaptação conceitual foi feita, por razões práticas, para atender a duas características gerais dos depósitos estudados: (a) o aspecto predominantemente maciço, com marcada escassez de estruturas sindeposicionais aparentes e, (b) a importância de feições de origem diagenética (nódulos e bandamentos secundários) na caracterização dos tipos de minério identificados no procedimento de extração e blendagem.

A amostragem levou em consideração as fácies assim previamente delimitadas nas frentes de lavra. Em cada fácies coletaram-se em média 5 kg de material *in natura*, identificado e armazenado em saco plástico.

As figuras 4.1 e 4.2 apresentam respectivamente a localização dos pontos amostrados em mapa da mina e as seções colunares confeccionadas para as frentes de lavra em estudo.

## **2.3 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO**

### **2.3.1 - Análises granulométricas**

Os valores médios da distribuição granulométrica de duas seções de frente de lavra da Mina Fazendinha estão contidos na tabela 4.1 e dispostos graficamente através de histogramas de frequência simples (Figuras 4.8 e 4.9) e diagrama de Shepard (Figura 4.10).

Foi usada a técnica de pipetagem, para a separação das partículas inferiores a 0,062 mm (62 $\mu$ m), e a de peneiramento, para a análise de partículas de diâmetros maiores, conforme procedimentos descritos por Suguio (1973, 1980) e Giannini (1993).

Pela técnica de peneiramento, as partículas com diâmetros superiores a 0,062mm, incluindo grânulos e nódulos, passaram por um jogo de peneiras de aberturas entre 5 e 250 mesh. A técnica de pipetagem inclui os sedimentos de granulações inferiores a 0,062mm ou 62  $\mu$ m, passantes na peneira 250 mesh, para as quais a técnica do peneiramento já não é mais adequada. Para separar este grupamento de partículas, submete-se as partículas a um processo de decantação. Amostras são coletadas em tempos calculados de acordo com a Lei de Stokes, conforme a temperatura e o tamanho de partículas desejados. Para a escolha destes tamanhos adotaram-se os valores limítrofes de classes granulométricas: silte muito grosso (0,062mm -



0,031mm), silte médio (0,031mm - 0,016mm), silte fino (0,016mm - 0,008mm), silte muito fino (0,008mm - 0,004mm) e argila (<0,004mm) de acordo com a escala de Wentworth.

As porções desagregadas foram tratadas com água oxigenada, para destruir a matéria orgânica, e agitadas com pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) para dispersar e deflocular as frações finas presentes.

## **2.3.2 - Análises mineralógicas**

### **2.3.2.1 - Difração de raios X**

#### **2.3.2.1.1 - Mineralogia Total**

Foram realizados difratogramas de raios X para grande parte das amostras coletadas, com obtenção de resultados em material com e sem orientação, aquecido e tratado.

A técnica do esfregaço foi utilizada para a obtenção de difratogramas de raios X em amostra total. Esta técnica consiste na preparação de material sobre porta amostra apropriado, após tê-lo pulverizado e seco em temperaturas não superiores a 30°C.

Para frações menores que 44µm, passante a úmido em peneira de 325 mesh, foram obtidas amostras precipitadas através da técnica da decantação e deposição de partículas sobre lâmina de vidro. Através deste procedimento, as partículas se depositam orientadas e salientam, de forma natural, as reflexões basais dos argilominerais. Foram, também, confeccionadas lâminas orientadas tratadas com etileno-glicol (EGL).

A eliminação da matéria orgânica, quando necessária, foi realizada através da adição e homogeneização de nitrato de lítio à fração de material a ser analisado.

Para as interpretações dos difratogramas de raios X foram utilizados os “softwares” APD e IDENTIFY da Phillips, versão ano 1997, adicionado de consultas às distâncias das

reflexões basais dos minerais contidos no catálogo para identificação de minerais por difratometria. Estes métodos levam em consideração os princípios de identificação mineralógica com base nas medidas de distância basal de cristais, indicadas por Brown (1972) e Brindley & Brown (1980), fundamentados na Lei de Bragg. O tratamento dos gráficos foi realizado através dos softwares ORIGIN 5.0 e COREL DRAW.

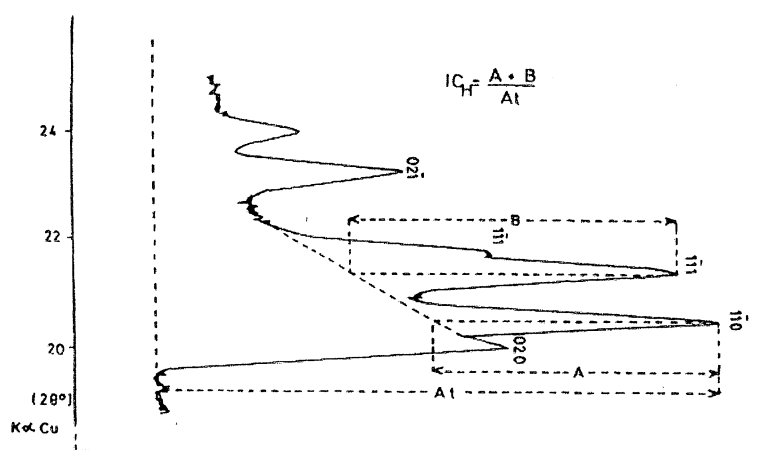
Para a identificação de argilominerais do grupo dos  $7\text{\AA}$ , além de técnicas como aquecimento e tratamento com EGL, foram utilizados critérios adotados por Warshaw e Roy (1961) in Souza Santos 1989. Este procedimento permite classificar minerais do grupo  $7\text{\AA}$  e diferenciar caulinitas bem cristalizadas e com desordem no eixo b. A reflexão (060) à uma distância  $d=1,48 - 1,49 \text{\AA}$  em material argiloso não orientado, indica grupo da caulinita. Resoluções das reflexões com espaçamento basal (d) iguais a  $4,46 \text{\AA}$ ;  $4,36 \text{\AA}$ ;  $4,18 \text{\AA}$ ;  $4,13 \text{\AA}$ ;  $3,85 \text{\AA}$ ;  $3,74 \text{\AA}$ ;  $2,56 \text{\AA}$ ;  $2,53 \text{\AA}$ ;  $2,49 \text{\AA}$ ;  $2,34 \text{\AA}$ ;  $2,29 \text{\AA}$  e  $2,25 \text{\AA}$  indicam caulinita bem cristalizada. Não resolução das reflexões a  $4,18 \text{\AA}$ ;  $4,13 \text{\AA}$ ;  $3,85 \text{\AA}$  e a  $4,74 \text{\AA}$ , conjunto de três reflexões mal resolvidas nas regiões a  $2,56 \text{\AA}$  e a  $2,34 \text{\AA}$  e reflexões (001) e (002) mais intensas (mais altas) que a 020, indica caulinita com desordem no eixo b.

Para a obtenção dos resultados de análises de raios X foi utilizado o Difratorômetro Phillips PW 1830, instalado no Centro Tecnológico de Estudos Cerâmicos (CETEC)-Laboratório de Análises de Minerais de Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). As condições analíticas foram: - radiação  $\text{CuK}\alpha$ , 30mA, 40kV e goniômetro com velocidade de  $1^\circ/\text{min}$ , a passo de 0,005 graus e tempo de contagem em 0,5 segundo.

### **2.3.2.1 2 - Cristalinidade da caulinita**

Alguns difratogramas de amostras foram utilizados para a avaliação dos “defeitos estruturais” ou mais comumente chamado de avaliação da cristalinidade de minerais

argilosos. Foi avaliado o grau de cristalinidade das caulinitas, por ser este o argilomineral predominante no depósito. Existem vários métodos para este tipo avaliação. Neste trabalho, optou-se pelo cálculo gráfico segundo método de Hinckley, 1963 *apud* Gomes, 1986. (Figura 2.1). Este método tem como princípios a forma (agudez, abertura, assimetria) dos máximos de difração e a resolução, ocorrência ou ausência de certos máximos de difração no intervalo  $2\theta$  de  $19^\circ$ - $23^\circ$ , por este intervalo conter máximos de difração correspondentes a famílias de planos reticulares de todos os tipos: (hkl), (hko) e (oko). Os valores obtidos são colocados em escala que varia de 0 a 2 nos índices de cristalinidade de Hinckley (ICh) e classificam o grau de cristalinidade das caulinitas em: caulinitas com cristalinidade elevada ( $ICh > 1$ ); caulinitas com cristalinidade boa ( $0,75 < ICh < 1$ ); caulinitas com cristalinidade média ( $0,50 < ICh < 0,75$ ); caulinitas com cristalinidade fraca ( $0,25 < ICh < 0,50$ ) e caulinitas com cristalinidade muito fraca ( $ICh < 0,25$ ).



**Figura 2.1** - Representação esquemática da determinação do índice de cristalinidade de Hinckley para argilominerais do grupo da caulinita, segundo Gomes, 1986.

Para Gomes (1986), o maior ou menor grau de cristalinidade das caulinitas será expresso conforme a existência ou não de defeitos estruturais como: defeitos pontuais intrínseco às camadas, defeitos no empilhamento das camadas e defeitos nos espaços

intercamadas. A partir dos valores do grau de cristalinidade das caulinitas pode-se estabelecer correlações significativas entre propriedades tecnológicas tais como: plasticidade, refratariedade, contração em verde e seco, capacidade de troca catiônica e superfície específica em depósitos essencialmente cauliníticos.

### **2.3.2.2 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise por energia dispersiva(EDS)**

Como estudo complementar à identificação dos argilominerais de dois perfis representativos da lavra, foi realizado o estudo por microscopia eletrônica de varredura com microanálise pontual por energia dispersiva acoplada (MEV/EDS).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite visualizar a amostra, quanto a sua topografia e variação composicional em superfície, em aumentos de dezenas de milhares de vezes.

O mecanismo básico de funcionamento do MEV é a dispersão ou excitação provocada pelo bombardeamento da superfície da amostra por um feixe de elétrons. Os elétrons são acelerados através de uma diferença de potencial muito elevada (até 30kV), com capacidade de penetração de até 1 micron. Nos modelos modernos, o sinal eletrônico produzido como resposta na superfície da amostra pode ser colhido por três tipos de detectores. Um primeiro detector, o de elétrons secundários (denominado abreviadamente, na linguagem técnica do aparelho, como SE1), capta preferencialmente os elétrons oriundos da própria amostra, ejetados pela colisão dos elétrons do feixe incidente. A energia destes elétrons é controlada pela distância percorrida e a imagem produzida pode assim ser considerada um reflexo da topografia da amostra. A imagem gerada pelo detector SE1 é muito semelhante a imagem de microscopia óptica, embora não se trate de uma imagem produzida diretamente por raios luminosos e sim por feixes de elétrons. Duas vantagens da imagem de elétrons secundários

em relação à imagem óptica são o maior aumento, sem comprometimento de resolução (na ordem de nm) e a maior profundidade de campo. O segundo detector capta elétrons retroespalhados (“backscattered detector” ou QSBD), isto é, os elétrons incidentes difratados após o choque e penetração na camada superficial da amostra. A energia destes elétrons depende da densidade atômica da amostra penetrada, de modo que a imagem produzida denota variação composicional. Assim, na imagem de elétrons retroespalhados, os elementos mais leves produzem tonalidades de cinza mais escuras enquanto os elementos mais pesados produzem tonalidades mais claras.

Os MEV modernos contam com um terceiro detector, dimensionado para captar sinais de raios X produzidos pela interação entre feixe de elétrons e amostra. Este detector é conhecido como espectrômetro de energia dispersiva (“energy dispersive spectrometer” ou, abreviadamente, EDS). O sistema MEV-EDS permite executar análises químicas pontuais, com controle visual sobre o ponto que está sendo analisado, em aumentos de dezenas de milhares de vezes. Com base na imagem da amostra, o operador tem condições de escolher o ponto ou área a ser quimicamente analisada através do sistema acoplado de EDS. A possibilidade de produção de imagens está relacionada à varredura do campo de interesse por um feixe incidente de elétrons. Além da incidência de elétrons ser móvel, a própria amostra também pode ser movida dentro da câmara de vácuo, o que facilita ainda mais a varredura completa através da sua superfície.

O reconhecimento de caulinita através da morfologia determinada ao microscópio eletrônico, foi realizado com base em trabalhos de Souza Santos (1966, 1989), e Keller (1978). As morfologias e texturas observadas nos argilominerais (principalmente caulinita) de Tijucas do Sul foram comparadas com aquelas já disponíveis na literatura, como Atlas de Welton (1984) e trabalhos de O'Brien & Slatt (1990).

Para a obtenção das imagens foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura Modelo Leo 440I, com EDS acoplado, instalado no Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (São Paulo, SP).

A preparação das amostras para obtenção de fotomicrografias e análises químicas qualitativas incluiu a montagem, em suporte apropriado (“stub”) de fragmentos milimétricos do material *in natura*, seco em estufa com temperatura controlada ( $\sim 30^\circ$ ). Posteriormente, o preparado foi recoberto por uma fina película de carbono. Algumas amostras foram ainda metalizadas com ouro e, neste caso, o ouro aparece nos espectros de EDS obtidos. Foram obtidas micrografias eletrônicas dos pontos mais significativos e interessantes das amostras dos sedimentos, com aumentos que variaram de 3.000 a 10.000 vezes.

### **2.3.3 - Análises químicas**

#### **2.3.3.1 - Análise química para óxidos maiores**

A caracterização química foi realizada através da dosagem de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  na fração menor que  $44\mu\text{m}$  de 45 amostras coletadas em frentes de lavra. Esta fração foi obtida por passagem a úmido em peneira de 325 mesh, sem tratamentos prévios. A partir dos resultados da dosagem química associados à identificação mineralógica obtida através da análise de raios X, foi realizado o cálculo normativo percentual da mineralogia presente em cada amostra fracionada (Tabela 4.3).

Para estas análises, foram confeccionadas pastilhas de vidro em que as amostras, após separação granulométrica, são misturadas com tetraborato de lítio e fundidas a temperaturas de  $1000^\circ\text{C}$  numa fusora Claisse Flux 30. As pastilhas de vidro foram submetidas à análise química pela técnica de fluorescência de raios X. Estas análises também foram efetuadas em

laboratórios do Centro de Tecnologia de Estudos Cerâmicos - Laboratório de Análises de Minerais e de Rochas (Cetec-Lamir) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A representação gráfica para a mineralogia e composição química predominante nas fácies identificadas, encontram-se expressos através de gráficos binários e ternários no capítulo seguinte.

### **2.3.3 2– Capacidade de troca catiônica (CTC)**

A importância do estudo das argilas sob aspectos físico-químicos está ligada à sua forte reatividade. A reatividade das argilas encontra-se diretamente relacionada com sua superfície específica, isto é, à área total de superfície livre disponível dos grãos por unidade de massa. Dentre as propriedades fundamentais que expressam esta reatividade encontra-se a capacidade de troca de cátions, cujos teores dosados para amostras representativas dos sedimentos em estudo, encontram-se na tabela 4.4.

A Capacidade de troca iônica, assim como a absorção, está ligada à carga líquida negativa das partículas, a qual é decorrente de uma característica estrutural dos argilo-minerais, ligada ao arranjo das unidades estruturais. A capacidade de troca catiônica (CTC) é mais acentuada que a capacidade de troca de ânions (CTA) por causa da tendência preferencial dos argilo-minerais para a formação de uma carga líquida negativa e não positiva. A unidade habitualmente empregada para expressar os valores de CTC é o meq/g.

Uma tabela de valores usuais de CTC e CTA de diferentes argilo-minerais é dada por Grim (1953), de onde se observa a elevada CTC dos minerais expansíveis em relação aos demais (especialmente em relação a caulinita e halloysita desidratada).

De acordo com Grim (1953) parece haver três razões principais na geração da CTC: 1) substituições de  $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$  e/ou de  $\text{Al}^{+3}$  por  $\text{M}^{+2}$  dando um déficit positivo; 2) ligações rompidas nas bordas das unidades alumino-silicáticas originando cargas insatisfeitas e

ocorrendo em número inversamente proporcional ao tamanho das partículas, 3) exposição de  $\text{OH}^-$  ao redor de bordas quebradas, possibilitando a substituição do  $\text{H}^+$  por outros cátions. A baixa CTC da caulinita seria devida à escassez de substituições isomórficas.

O grau de saturação (V) e a dosagem do alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e o pH também foram determinados para o meio aonde se depositam os sedimentos. O grau de saturação (V) é muito significativo, pois conjuga o fator capacidade de troca catiônica ao número de cátions e bases disponíveis no meio analisado. A dosagem de alumínio associado aos resultados de pH do meio serviu para caracterizar os processos superficiais de alteração de rochas no depósito.

Para 10 amostras da Mina Fazendinha, foram calculadas a CTC e a saturação em bases trocáveis (V%), a partir das determinações das bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) e da acidez titulável ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ). Foram também determinados o  $\text{pH}$  sobre o  $\text{CaCl}_2$  e a percentagem com saturação em  $\text{Al}^{3+}$ .

Estas determinações foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia da UFPR e executadas segundo método de análise de solo da EMBRAPA, 1997.

### **2.3.3.3 - Dosagem da matéria orgânica**

A presença de matéria orgânica exerce influência direta em argilas através de alterações de propriedades físicas como plasticidade e aceleração de processos de reatividade química, por favorecer a adsorção de cátions e ânions e aumentar a capacidade de troca catiônica (Grim, 1962 e 1968).

Foi realizada a dosagem da matéria orgânica através da titulação do carbono total em 10 amostras representativas das seções. Foram escolhidas amostras mais escuras (cinzas a pretas - as mesmas utilizadas para análise de CTC e outras dosagens já descritas). A matéria orgânica foi oxidada com dicromato de potássio, em meio sulfúrico e titulada com solução



padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). Os resultados estão contidos na tabela 4.4 e comparados graficamente com a capacidade de troca catiônica (CTC).

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), e executadas conforme metodologia contida no Manual de Análise de Solo da EMBRAPA, 1997.

## CAPÍTULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

### 3.1 - BREVE HISTÓRICO

Até o momento, existem poucos trabalhos geológicos voltados especificamente para a área de Tijucas do Sul. A maioria das publicações têm caráter regional e são limitadas ao contorno da área, para efeito de localização no contexto geográfico-geológico da porção leste do Paraná.

Somente em 1969 apresentou-se um estudo mais detalhado da área, incluindo mapa geológico 1:70.000 e síntese dos conhecimentos adquiridos até àquele momento. Esse estudo foi publicado pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, no relatório referente à Folha de Tijucas do Sul (Trein *et al.* 1969).

Aumond, a partir da década de 80, durante o desenvolvimento do Projeto Tabatinga (desenvolvido pela Empresa Aurora, para prospecção de depósitos argilosos, principalmente nas porções sul e sudeste de Tijucas do Sul), pôde aprofundar os estudos geológicos específicos para os sedimentos tidos por ele como quaternários, na Bacia de Tijucas do Sul.

Dentre os trabalhos de importância histórica que abordam a geologia e fisiografia do leste paranaense, e que englobam a Bacia de Tijucas, pode-se citar: Oliveira (1927), Leonardos (1938), Ruellan (1945), Maack (1953,1961), *apud* Trein *et al.* 1969 com enfoque genérico na definição dos grandes traços da geologia da área, Ab'Saber e Bigarella (1961), Bigarella & Salamuni (1959 e 1962) e Bigarella *et al.* (1961), sobre a geomorfogênese da área e caracteres texturais dos sedimentos da região.

Oliveira 1927 *apud* Trein *et al.* 1969 realizou um mapeamento geológico do Paraná em escala 1:1.000.000 incluindo, de uma forma genérica, os traços geológicos mais relevantes da região de Tijucas do Sul.

Leonardos 1938 *apud* Trein *et al.* 1969, estudando a ocorrência de minério de ferro na região Sul de Curitiba e suas relações com elementos morfológicos da paisagem, citou genericamente a região de Tijucas do Sul.

Ruellan 1945 *apud* Trein *et al.* 1969, em sua interpretação geomorfológica, delimita as linhas gerais do relevo da região de Tijucas do Sul, com seus contrafortes iniciais da serra do Mar na porção leste do Paraná.

Maack 1953 *apud* Trein *et al.* 1969 através do seu “Mapa Geológico do Paraná” em escala 1:750.000, esboçou linhas gerais da área.

Bigarella & Salamuni (1959), quando descreveram os sedimentos da Bacia de Curitiba, como “argilitos de coloração cinzenta e arenitos arcoseanos, representativos de depósitos fluviais e lacustres, de idade Pleistocênica”, já incluíram, de forma indireta, os depósitos de Tijucas do Sul, devido à sua grande semelhança e proximidade com os depósitos daquela bacia.

Maack 1961 *apud* Trein *et al.* 1969 registrou a ocorrência de riolitos, entre Campestre e Agudos do Sul e de um maço granítico, provavelmente alcalino, a SW da represa de Vossoroca (serra de Araçatuba, ou morro de Itararé, situada na porção norte do município de Tijucas do Sul).

Ab’Saber e Bigarella (1961), em considerações sobre a geomorfogênese da serra do Mar no Paraná, incluíram abordagens deste gênero para região que engloba Tijucas do Sul (PR). Estes mesmos autores aprofundaram seus estudos geomorfológicos especificamente para as superfícies aplainadas do primeiro planalto paranaense, onde se inclui, em sua totalidade, o município de Tijucas do Sul. Neste trabalho, os autores destacaram, na Bacia de Curitiba, a existência de leques aluviais coalescentes junto a planícies fluviais, responsáveis pela deposição dos sedimentos arenosos, associados a sistema lacustre (*playa*) responsável pelos argilitos e

siltitos. Remanescentes de regolitos antigos seriam, segundo estes autores, facilmente encontrados nas porções periféricas da bacia.

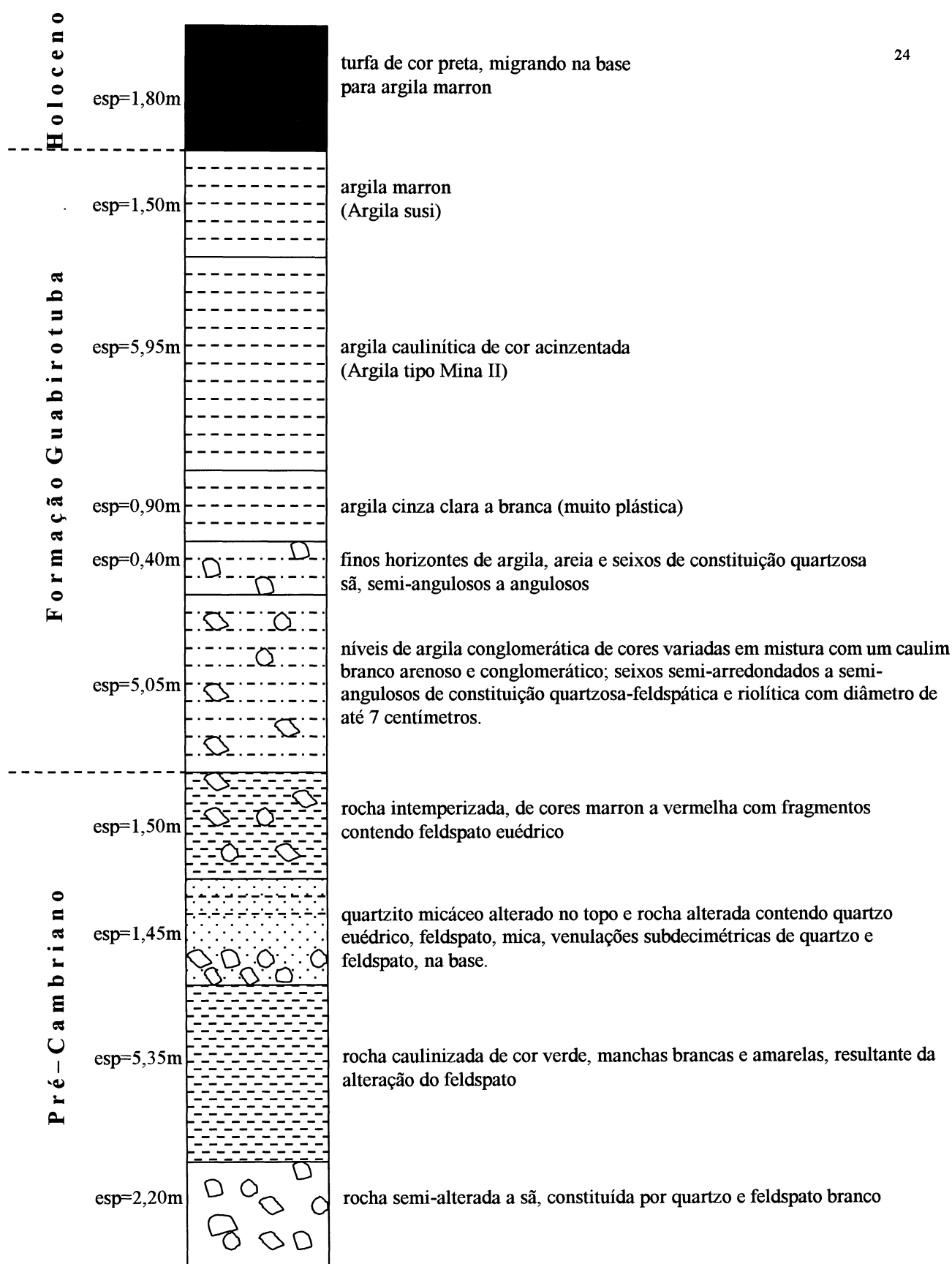
Bigarella e Salamuni (1962) realizaram estudos de distribuição granulométrica e exames de caracteres estruturais, texturais e mineralógicos para os sedimentos das várzeas recentes do rio Iguaçu e afluentes, atribuídos à Formação Guabirotuba da Bacia de Curitiba. A partir dos resultados obtidos e da comparação com os resultados relativos a depósitos circunvizinhos à Bacia de Curitiba, dentre os quais os da região de Tijucas do Sul, os autores consideraram a possibilidade de estar diante de depósitos pertencentes à uma mesma bacia. Porém, a hipótese não foi considerada definitiva e conclusiva, face a carência de estudos mais aprofundados sobre o material encontrado na região de Tijucas do Sul.

Foi com Trein *et al.* (1969) que foram obtidos maiores detalhes com relação ao material contido na Bacia de Tijucas do Sul. Os autores realizaram trabalhos de mapeamento geológico na região e aventaram uma hipótese, pioneira, de diferenciação entre os sedimentos que preenchem a Bacia de Curitiba e os que se encontram na Bacia de Tijucas do Sul. Diferenças com base na menor espessura de perfis verticais (15 metros corresponde ao máximo encontrado), ausência de caliche ou depósitos de natureza calcária, grande variedade de cores dos sedimentos e presença da paragênese caulinita-gibbsita principalmente no topo de perfis dos depósitos de Tijucas do Sul, levaram-nos a caracterizar uma bacia individualizada nesta área. Os autores intitularam de Bacia de Tijucas do Sul a depressão de configuração geométrica ligeiramente circular localizada na porção central do município de Tijucas do Sul, PR, que abriga o grupamento sedimentar que contém os depósitos de argilas plásticas lavrados na região há mais de duas décadas. Porém, os mesmos autores citam a necessidade de realização de estudos mais profundos e detalhados para se poder aventar hipóteses mais elaboradas sobre a gênese dos depósitos desta bacia.

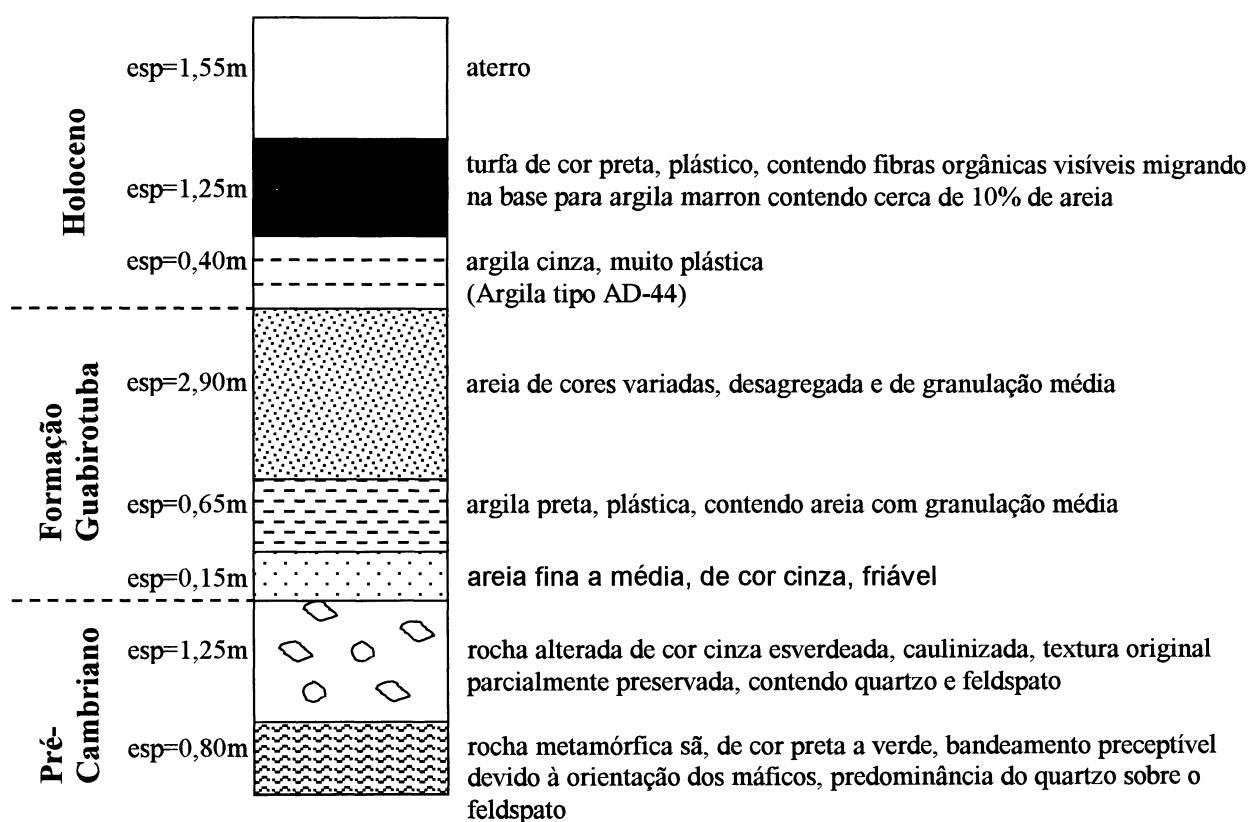
### 3.2 - GEOLOGIA DA REGIÃO DE TIJUCAS DO SUL

Aumond (1993) realizou trabalhos de caráter geológico e de caracterização tecnológica, em grande escala, do material argiloso encontrado em áreas de antigas planícies aluviais na região de Tijucas do Sul, principalmente no que se refere aos depósitos contidos na Mina Fazendinha e arredores. Foram executadas inúmeras perfurações a trado, coletadas centenas de amostras e efetuados milhares de ensaios físicos e centenas de análises químicas para as amostras dos vários bolsões argilosos encontrados. A realização de sondagens com o auxílio de sondas rotativas, em furos estratigráficos estrategicamente distribuídos na área, permitiu o conhecimento dos horizontes estratigráficos e possibilitou estimar a espessura média de preenchimento sedimentar da Bacia de Tijucas do Sul. Três furos, cujos perfis se encontram representados esquematicamente nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3, foram executados respectivamente nas localidades conhecidas como Fazendinha, Mina AD-44 e Contenda. A maior espessura de sedimentos atinge pouco mais de 15 metros e ocorre na região da Mina Fazendinha. Os níveis argilosos de 8,30 e 4,80 metros, encontrados respectivamente nas localidades de Fazendinha e Contenda, caracterizaram as camadas de argila de maior espessura encontradas nas sondagens. Os bolsões argilosos pertencentes à Fazendinha e Contenda formaram, na época, duas frentes de exploração de argilas que abasteciam várias indústrias cerâmicas do Centro-Sul do país. Com base no fornecimento destas argilas, foram identificados *tipos comerciais* de argilas plásticas que são comercializadas até hoje pela Mineração Tabatinga. Dentre eles, pode-se citar os tipos: *Argila Susi, Argila Mina I, Argila Mina II, Argila AD-44, e Argila Preta*.

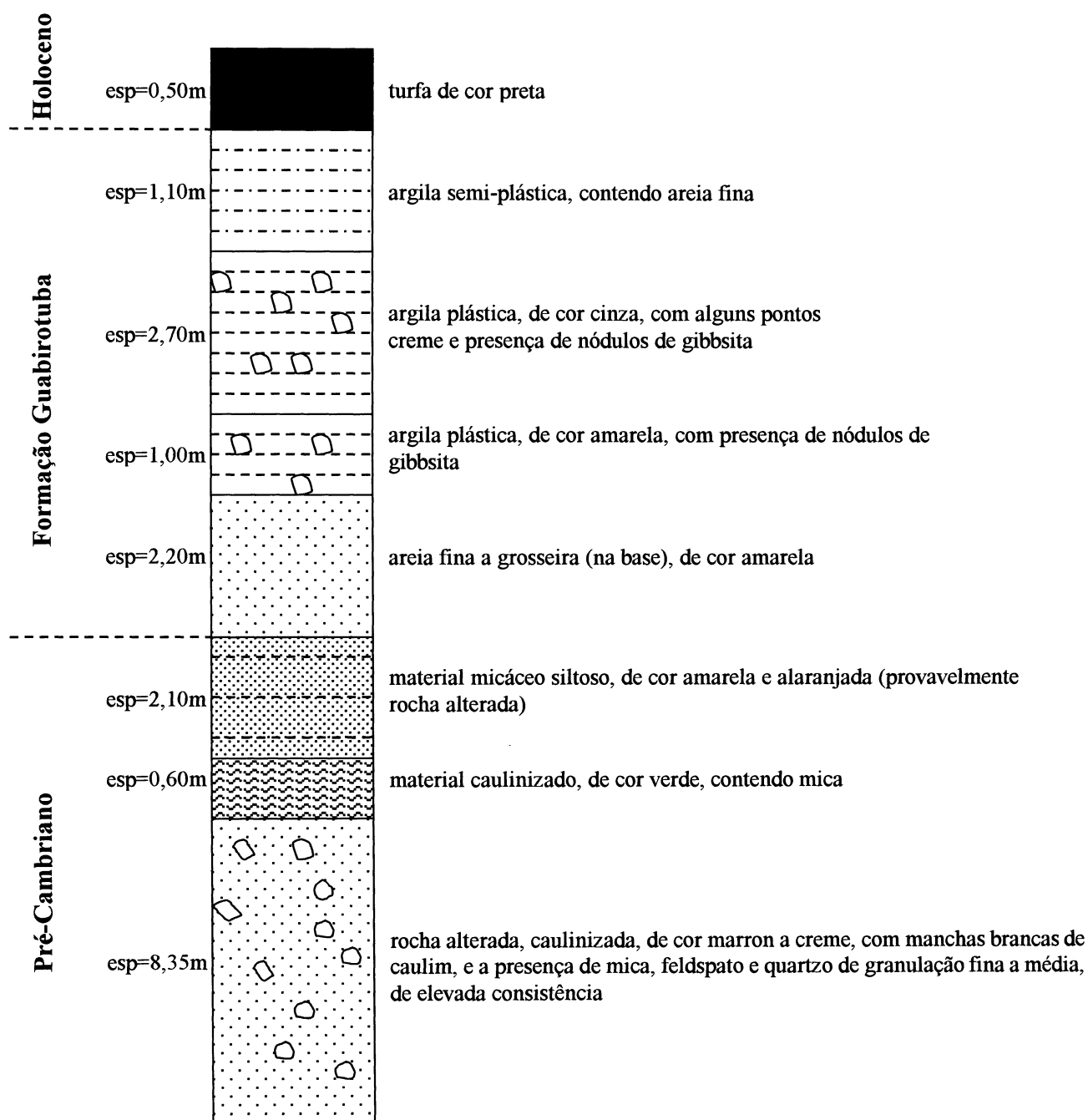
As argilas de interesse, da Mina Fazendinha e arredores, foram intensamente estudadas do ponto de vista tecnológico. Os resultados estão contidos em relatórios internos da Mineradora Tabatinga e em trabalhos publicados por Aumond a partir da década de 80. A partir destes trabalhos, as argilas de Tijucas do Sul foram classificadas como



**Figura 3.1** - Representação esquemática dos sedimentos e rochas do embasamento que formam a coluna estratigráfica na Mina Fazendinha (dados de sondagem rotativa realizada pela Mineradora Tabatinga, segundo Aumond 1993).



**Figura 3.2** – Representação esquemática dos sedimentos e das rochas do embasamento que formam a coluna estratigráfica na Mina AD-44 (dados de sondagem rotativa realizada pela Mineradora Tabatinga, segundo Aumond 1993).



**Figura 3.3** – Representação esquemática dos sedimentos e das rochas do embasamento que formam a coluna estratigráfica na Mina Contenda (dados de sondagem rotativa realizada pela Mineradora Tabatinga, segundo Aumond 1993).



preponderantemente cauliníticas, com baixo teor em ferro, cor de queima branca, alta plasticidade e grande resistência mecânica. Propriedades que levaram os autores a considerarem estas argilas como similares à *ball clays*.

Este trabalho procura ampliar e complementar a caracterização geológica e mineralógica das argilas de Tijucas do Sul, levando em consideração aspectos mineralógicos, químicos, de gênese e deposição dos sedimentos, associados aos condicionantes geológico-climáticos e aos processos pós-deposicionais atuantes no depósito considerado.

### **3.3 - COMPARAÇÃO COM A BACIA DE CURITIBA**

Os sedimentos que preenchem a Bacia de Curitiba foram inicialmente descritos por Bigarella e Salamuni (1957) *apud* Santana 1999, em trabalhos de caracterização geológica e mineralógica na cidade de Curitiba e arredores. Argilas de cor cinza, areias, arcósios e conglomerados formaram depósitos lacustres e fluviais de idade Pleistocênica e espessuras em torno de 100 metros.

Bigarella & Salamuni (1962) atribuíram o nome de Formação Guabirota aos depósitos pleistocênicos formados por argilas, areias e conglomerados de leques aluviais com fácies proximal e distal, e aos depósitos holocênicos fluviais e de planícies de inundação representados por sedimentos mais finos (areia fina e silte), com presença de matéria orgânica.

Esses mesmos autores, através de estudos geomorfológicos e paleoclimáticos do ambiente de deposição dos sedimentos na região do primeiro planalto paranaense, caracterizaram diferentes fases no contexto evolutivo do preenchimento da Bacia de Curitiba. Estas fases se individualizam principalmente por apresentarem caracteres texturais, estruturais e mineralógicos representativos de condições climáticas da época da deposição. Os componentes de textura mais grossa, relictos de um paleorregolito formado sob a vigência de

um clima frio e com chuvas torrenciais em certas épocas, formam os atuais depósitos de leques aluviais em fácies proximais. A presença de esmectitas como constituinte argilomineral predominante e de estruturas carbonáticas sob a forma de calcretes ou caliche nesta fácies, corroboram a vigência de meio pouco lixiviante e de intensa evaporação, característicos de um paleoclima árido a semi-árido durante a época de formação e deposição destes materiais.

Para Trein *et al.*(1969), a presença de sedimentos terrígenos com características semelhantes aos da Formação Guabirotuba na porção central da área de Tijucas, pressupõe, na região, durante o Quaternário, a vigência de períodos de pediplanação e sedimentação em condições de clima semi-desértico semelhantes às que reinaram durante a deposição dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Altimetricamente os autores consideram a região como situada aproximadamente ao nível de arrasamento ou de aplainamento geral dos migmatitos. Os sedimentos são predominantemente constituídos por argilas, areias, areias feldspáticas e aglomerados grosseiros. Este agrupamento textural e mineralógico foi localmente considerado por Trein *et al* (1969) com a denominação de Formação Vossoroca. Estes sedimentos apresentam cores muito variadas, sendo comuns as colorações vermelhas, amareladas, cinzas e cinza-esverdeadas, com presença de estratificações muito irregulares e frequentemente acanaladas e lenticulares. As camadas ou lentes arenosas possuem teores variáveis de feldspatos e de grãos ou fragmentos de rocha. Os conglomerados, que ocorrem principalmente na extremidade NE da bacia, são constituídos por seixos ou blocos de diâmetros muito variados, subarredondados ou arredondados, de migmatitos, granitos, riolitos, andesitos, siltitos e arenitos arcosianos provenientes da Formação Guaratubinha. Para este autores estes sedimentos são também representativos de depósitos de leques aluviais coalescentes, associados a depósitos fluviais e de planícies de inundação numa época mais recente.

Aumond (1993) considerou a formação da Bacia de Tijucas do Sul a partir de um alçamento do embasamento cristalino a juzante do rio da Várzea, com represamento parcial de

suas águas. As áreas fontes foram atribuídas aos migmatitos intensamente intemperizados e aos granitos e riolitos residuais dispostos na periferia da depressão. Os espessos pacotes de argilas sedimentares da região de Tabatinga seriam oriundos do transporte fluvial de produtos de alteração e erosão de rochas pobres em ferro e magnésio, ricas, porém, em feldspato e mica, associado a um ambiente de drenagem fácil e com elevada precipitação pluviométrica. A formação de argila rica em caulinita foi atribuída à dissolução da sílica e dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. Já a formação da gibbsita, a complexação e dissolução dos minerais de ferro existentes, foram atribuídos a um estágio posterior, como consequência da dessilicatização da caulinita pela presença de águas alcalinas num ambiente de várzea rico em matéria orgânica. A matéria orgânica, através dos ácidos húmicos e fúlvicos, provocaria a lixiviação dos metais pesados, principalmente do ferro.

Aumond (1993) considerou o retrabalhamento provocado pela drenagem atual, em algumas áreas do depósito, como responsável pela reclassificação granulométrica, eliminação da gibbsita e aumento da matéria orgânica coloidal das argilas, que geraram o material argiloso plástico com propriedades similares às de uma argila *ball clay*.

Coimbra *et al.* (1985), em estudos de correlações paleoambientais entre as bacias de Curitiba, Taubaté e Resende consideraram as ocorrências de caliche como estruturas indicativas de um paleoclima árido ou semi-árido comum a estas bacias.

Coimbra *et al.* (1996), estudaram os sedimentos argilosos que recobrem a Formação Guabirotuba em áreas da porção norte da Bacia de Curitiba. Os autores caracterizaram, na região de Piraquara, argilas predominantemente caulínicas formando pacotes com espessuras não superiores a 10 metros capeando a Formação Guabirotuba. É freqüente a ocorrência de grânulos de quartzo e feldspato dispersos aleatoriamente na matriz. Os autores agruparam os depósitos na Formação Piraquara e atribuíram uma origem fluvial meandrante para estes sedimentos, correlacionando-os com a Formação São Paulo, de idade miocênica.

Para Sant'Anna (1999), os depósitos da Formação Guabirota compreendem um sistema de leques aluviais associados a planícies de rios entrelaçados, de idade eocênica/oligocênica, com maior desenvolvimento da associação de fácies de leque aluviais medianos nas porções norte e central da Bacia de Curitiba representadas, nesta região, por fácies de conglomerado e fácies de lamitos arenosos a argilo-arenosos. Na parte sul da Bacia de Curitiba, a autora localiza uma associação de leques aluviais distais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados, representada pela fácies de lamitos argilosos, podendo conter calcretes e arenitos, por vezes conglomeráticos. Os sedimentos lamíticos argilosos são compostos por quantidades variáveis de grãos clásticos, principalmente de quartzo, disseminados em abundante matriz argilosa esmectítica maciça. Os paleossolos caulínicos atribuídos ao Oligoceno médio a Superior, constituem os níveis superiores da Formação Guabirota e são decorrentes do intemperismo químico que atuou sobre os depósitos paleogênicos desde a sua deposição.

Salamuni (1998) abordou a Bacia de Curitiba e arredores num contexto geológico tectônico de formação da mesma. O autor definiu a atuação de uma neotectônica representada por estruturas trativas, tais como as falhas observadas na região de Agudos e regiões próximas, de extensão mapeável.

### **3.4 - ASPECTOS CLIMÁTICOS HIDROGRÁFICOS E GEOMORFOLÓGICOS**

O município de Tijucas do Sul (PR), com uma área de cerca de 694 km<sup>2</sup>, situa-se em sua maior parte, no sul do primeiro planalto do Paraná e, em sua parte leste e norte, na serra do Mar.

O relevo, de maneira geral é suave, apresentando formas arredondadas definidas pelas baixas colinas, com altitudes médias de 850 a 910 m. É comum a ocorrência de amplas planícies aluviais.

Em sua porção central, a área caracteriza-se por apresentar um relevo suave com baixas colinas e vales em forma de V muito abertos, definindo uma zona deprimida e aplainada que ocupa uma área aproximada de 180 km<sup>2</sup>, entre regiões de relevos mantanhosos a leste e a oeste. Nesta porção predominam os sedimentos terrígenos com características semelhantes aos da Formação Guabirotuba. As cabeceiras do rio da várzea, um dos formadores do Rio Negro, encontram-se nesta região, onde definiram um padrão de drenagem sub-dendrítico e retangular. Este padrão configura formas de relevo circulares, como é o caso da Mina Fazendinha, que se encontra embutida numa sub-bacia notadamente circular ladeada por tributários do Rio da Várzea.

Em sua porção sul, a área limita-se com a bacia do rio Negro, caracterizando-se por uma topografia bastante acidentada devido ao entalhamento profundo causado pelos afluentes diretos do Rio Negro e controlado pelo baixo nível de base desse rio.

A área em estudo localiza-se na porção sul da chamada “*Superfície de Curitiba*” de Bigarella (1959). As altitudes variam de um mínimo de 450 metros no leito dos rios Negro e da Várzea, até cerca de 910 metros nas elevações da serra do Mar. Na área deprimida aonde se encaixa a Mina Fazendinha, o rio principal (rio da Várzea), ocupa a parte lateral a SW e NW, limitando a borda oeste desta área, que pode ser considerada como uma sub-bacia do rio da Várzea. Este rio possui curso meandrante e direção predominante NE-SW com caimento para SW. Ele deságua na margem esquerdo do rio Negro que separa os estados do Paraná e Santa Catarina nesta região (Figuras 1.2 e 1.3).

Nas porções extremas norte-noroeste e sudeste, predominam relevos acidentados, de morros e montanhas, com forte controle pelos batólitos graníticos Agudos do Sul e Morro Redondo, com elevações que chegam a mais de 1000 metros.

O registro de níveis de cotas diferentes na Bacia de Curitiba, refere-se à presença de terraços intermediários, que parecem em muitos casos constituir restos de uma superfície de agração (Bigarella *et al.* 1961).

O clima da região de Tijucas do Sul (PR) caracteriza-se por ser úmido e temperado, com chuvas com intensidades variáveis e temperaturas oscilantes, classificado como Cfb de Köppen. Os índices pluviométricos anuais variam de 1200-1800 mm, devido à grande proximidade com relação à serra do Mar e conseqüente favorecimento de ocorrência das chamadas “chuvas de relevo”.

As variações atmosféricas decorrem sobretudo de influências da Massa tropical Atlântica, Massa Polar Atlântica e Frente Polar oriundas respectivamente do Atlântico sul e região polar.

Do Atlântico sul sopram ventos dos quadrantes SE e NE durante o ano todo. Desta mesma região origina-se a Massa Polar Atlântica de baixas temperaturas e alto grau de umidade específica responsável pelas chamadas “chuvas de relevo” e conseqüente aumento dos índices pluviométricos em regiões de proximidades da serra do mar, como Tijucas do Sul (PR).

As fotos 3.1 a 3.4 mostram aspectos locais da geomorfologia e de reconstituição ambiental de áreas da Mina Fazendinha.



**Foto 3.1** – Visão panorâmica da porção Sul da Mina Fazendinha com aspectos locais do relevo e de reconstituição ambiental em áreas já lavradas.



**Foto 3.2** – Visão geral do relevo aplainado da Bacia de Tijucas do Sul a oeste da Mina Fazendinha.





**Foto 3.3** – Aspecto panorâmico da Mina Fazendinha com exposição de frentes de lavra e áreas de reconstituição ambiental.



**Foto 3.4** – Área de reconstrução ambiental em terrenos da Mina Fazendinha em que a argila foi totalmente retirada.



## **CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES**

### **4.1 - CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA**

A caracterização faciológica do depósito da Mina Fazendinha foi realizada através de levantamentos de campo com base em observações, descrições de frentes de lavra e confecção de seções colunares com amostragem em diferentes níveis. A amostragem esteve apoiada na classificação faciológica realizada em campo. Os locais amostrados encontram-se situados em mapa planimétrico da Mina Fazendinha, elaborado pela Mineradora Tabatinga (Figura 4.1).

Para a identificação das fácies foram levados em consideração atributos como composição, textura, estruturas, geometria e disposição espacial dos corpos argilosos ao longo das seções colunares estudadas (seções TA, TB, TC, TD e TF) (Figuras 4.1 e 4.2). Essas características permitiram a subdivisão da sequência sedimentar da área da Mina Fazendinha em cinco grandes fácies nomeadas: a) fácies argila siltosa com turfa (ASt), b) fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng), c) fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS), d) fácies argila (A) e; e) fácies argila orgânica (Ao). (Foto 4.3 e figuras 4.3 (a) e 4.3 (b); foto 4.4 e figuras 4.4 (a) e 4.4 (b); foto 4.5 e figuras 4.5 (a) e 4.5 (b); foto 4.6 e figuras 4.6 (a) e 4.6 (b), foto 4.7 e figuras 4.7 (a) e 4.7 (b)).

#### **4.1.1 - Fácies argila siltosa com turfa (ASt)**

A fácies argila siltosa com turfa forma corpos subtabulares contínuos, com espessuras variáveis (0,5m a 2m) e aspecto maciço com textura argilo-siltosa e constituição turfosa. É constituída por um material inconsolidado de cor negra gradando, em profundidade, para cinza e marron (Foto 4.3 e figuras 4.3 (a) e 4.3 (b); foto 4.4 e figuras 4.4 (a) e 4.4 (b); foto 4.5

e figuras 4.5 (a) e 4.5 (b); foto 4.6 e figuras 4.6 (a) e 4.6 (b)). Em localidades próximas à área de lavra, observam-se níveis centimétricos de seixos subarredondados a arredondados de quartzo leitoso, logo abaixo desta fácies (Foto 4.1). Isto mostra, que ao menos nos locais onde ocorrem estes níveis de cascalhos, o solo negro turfoso é aloctone, tendo sido trazido ao local após a formação da “linha de pedras”. Esta possivelmente se relaciona a fenômenos recentes de enxurradas.

#### **4.1.2 - Fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng)**

A fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos caracteriza-se pela presença de corpos lenticulares cinza escuro e/ou marron, com espessuras entre 2 e 3 m, localizados logo abaixo da fácies argila siltosa com turfa. Compreende o nível denominado pela Mineradora Tabatinga como *argila Susi* e apresenta textura argilo-siltosa com abundância de nódulos e grânulos de gibbsita (valores de até 30%). Foi caracterizada pela empresa como material com alto teor em gibbsita. Os nódulos são brancos e duros e às vezes incorporam grãos de quartzo e feldspato em sua matriz. Embora predominantemente esferoidais, suas feições variam de botrioidais a tubulares. Quando esféricos, os diâmetros variam de 2 a 4 centímetros; quando tubulares têm em média 10 a 12 centímetros de comprimento e diâmetros de 2 a 3 centímetros. Os túbulos dispõem-se verticalmente em relação a superfície. Os grânulos são de quartzo e feldspato. A composição gibbsítica dos nódulos foi confirmada através de difratogramas de raios X (Foto 4.3 e figuras 4.3 (a) e 4.3 (b); foto 4.4 e figuras 4.4 (a) e 4.4 (b); foto 4.5 e figuras 4.5 (a) e 4.5 (b); foto 4.6 e figuras 4.6 (a) e 4.6 (b), foto 4.7 e figuras 4.7 (a) e 4.7 (b)).

#### **4.1.3 - Fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS)**

A fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos forma corpos lenticulares, com cor variegada entre o vermelho e o amarelo, resultando numa tonalidade creme predominante. A constituição argilo-siltosa apresenta nódulos raros a ausentes (5 a 11%), predominantemente esferoidais botrioidais e grão de quartzo e feldspato dispersos aleatoriamente. Frequentemente é interceptada bandamentos secundários, descontínuos e avermelhados, indicativos da oscilação do lençol freático (“ anéis de Liensengang”: foto 4.2). Esta fácies é denominada localmente como *argila tipo Mina I*, cujas características diagnósticas são a cor creme e menores teores em gibbsita (Foto 4.3 e figuras 4.3 (a) e 4.3 (b); foto 4.4 e figuras 4.4 (a) e 4.4 (b)).

#### 4.1.4 - Fácies argila (A)

A fácies argila delimita corpos lenticulares homogêneos e maciços, de consistência plástica e cores cinza a branco, que ocorrem em profundidades rasas a médias (a partir de três metros, porém não mais que 12 metros). É o nível argiloso mais importante do depósito por apresentar plasticidade, resistência mecânica a cru e cores pós-queima favoráveis ao aproveitamento na indústria de cerâmica branca (foto 4.3 e figura 4.3 (a) e 4.3 (b); foto 4.4 e figura 4.4 (a) e 4.4 (b); foto 4.5 e figura 4.5 (a) e 4.5 (b); foto 4.6 e figura 4.6 (a) e 4.6 (b)).

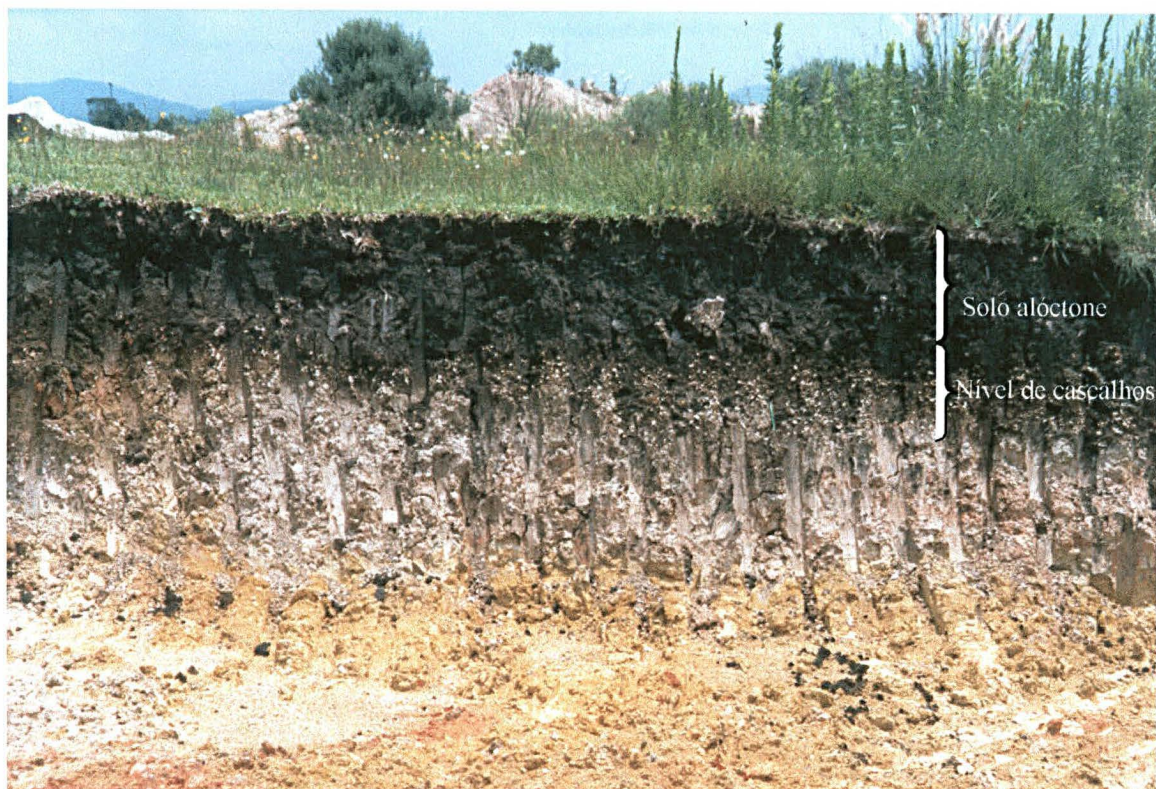
#### 4.1.5 - Fácies argila orgânica (Ao)

A fácies argila orgânica forma corpos lenticulares e maciços de ocorrência esporádica. A textura é argilosa e a concentração elevada de matéria orgânica reflete-se na cor preta a azulada. Foi localizada sob a fácies argila siltosa rica em gibbsita (seção TF) e sob a fácies argila (seção TD), conforme foto 4.6 e figuras 4.6 (a) e 4.6 (b), foto 4.7 e figuras 4.7 (a) e 4.7 (b)).

#### 4.1.6 - A gibbsita

A gibbsita caracteriza-se pela variação textural e morfológica, com ocorrências generalizadas nos topos das seções. A granodecrescência ocorre ao longo do aprofundamento das seções. As formas tubulares dispõem-se verticalmente, lado a lado, e integram as fácies argilosas localizadas mais superficialmente (fotos 5.1 e 5.2). A inseparabilidade entre gibbsita e lente argilosa (posteriormente identificada como essencialmente caulínica) caracteriza a paragênese caulinita-gibbsita. A nucleação da gibbsita é predominantemente esférica e não chega a formar carapaças contínuas. Apesar do processo de hidrólise e lixiviação favorecerem a concentração da gibbsita, o fenômeno não é suficiente a ponto de formar carapaças contínuas, tal como na Amazônia, por exemplo, aonde os fenômenos hidrolíticos são ainda mais intensos. Os nódulos de gibbsita, por vezes se soldam uns aos outros formando estruturas concrecionais e agregados. Aos níveis com concentrações variáveis de nódulos e grânulos de gibbsita foram relacionados quimicamente picos de alumínio, acompanhados de intensa dessilicificação. Estes níveis foram caracterizados como integrantes de um ambiente de composição química e mineralógica específicas, associados a condições climáticas úmidas e de lixiviação, diferentes do nível argiloso que normalmente os intercala. Com base nos teores das amostras, foi admitida a hipótese da existência de 2 paleossuperfícies na seção *tipo* do depósito, seção TC (figuras 4.5 (a) e 4.38). Os teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  acompanham a variação dos teores de alumínio e são inversamente proporcionais aos de silício. As paleossuperfícies, assim como a superfície atual, caracterizam-se quimicamente por terem baixos teores de sílica (dessilicificação) e altos teores de alumina (bauxitização e formação dos nódulos de gibbsita), conforme será discutido adiante (figura 4.38).



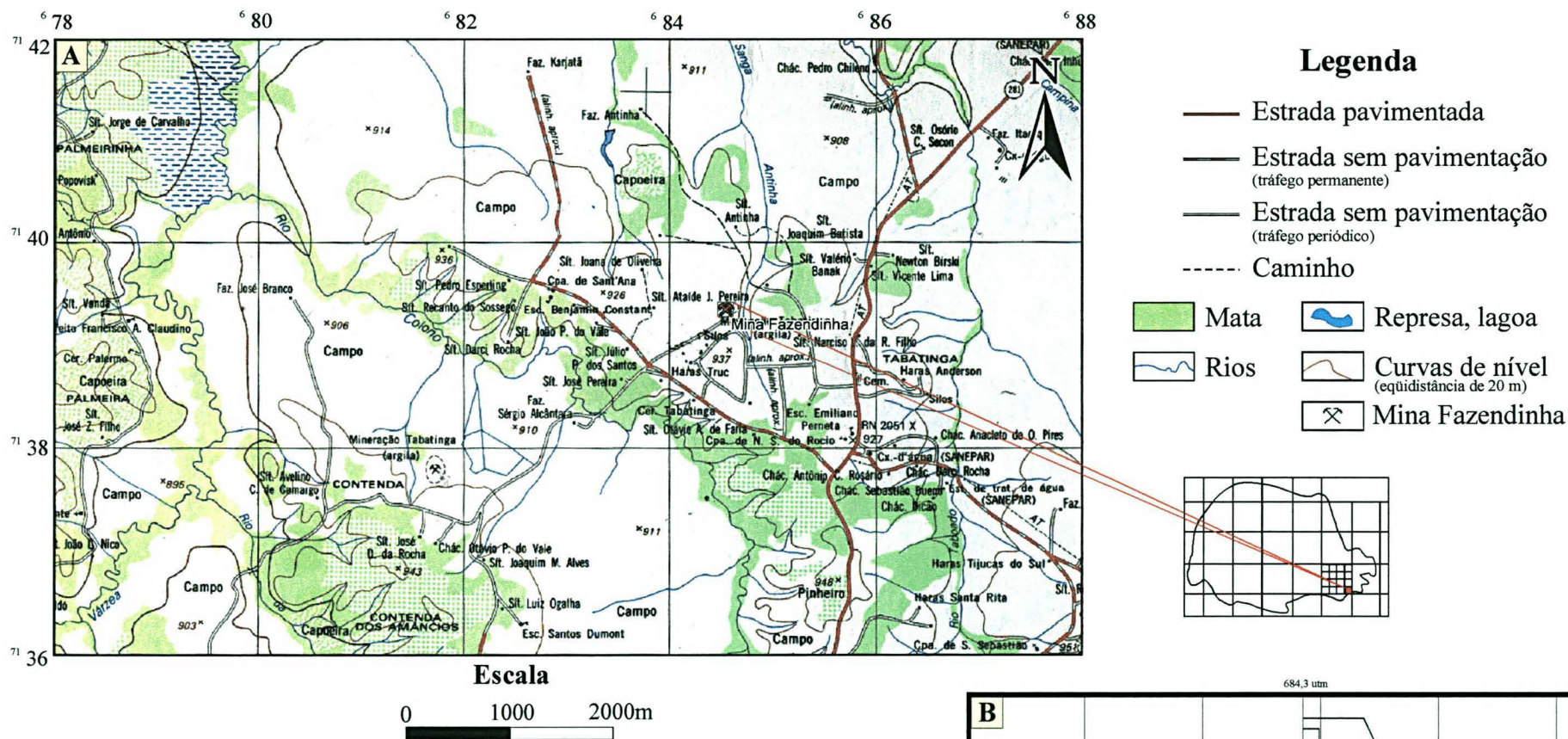


**Foto 4.1** - Aspecto geral dos níveis seixosos de composição quartzosa e de exposição superficial (logo abaixo da fácies argila siltosa com turfa) encontrados esporadicamente nos arredores da Mina Fazendinha.

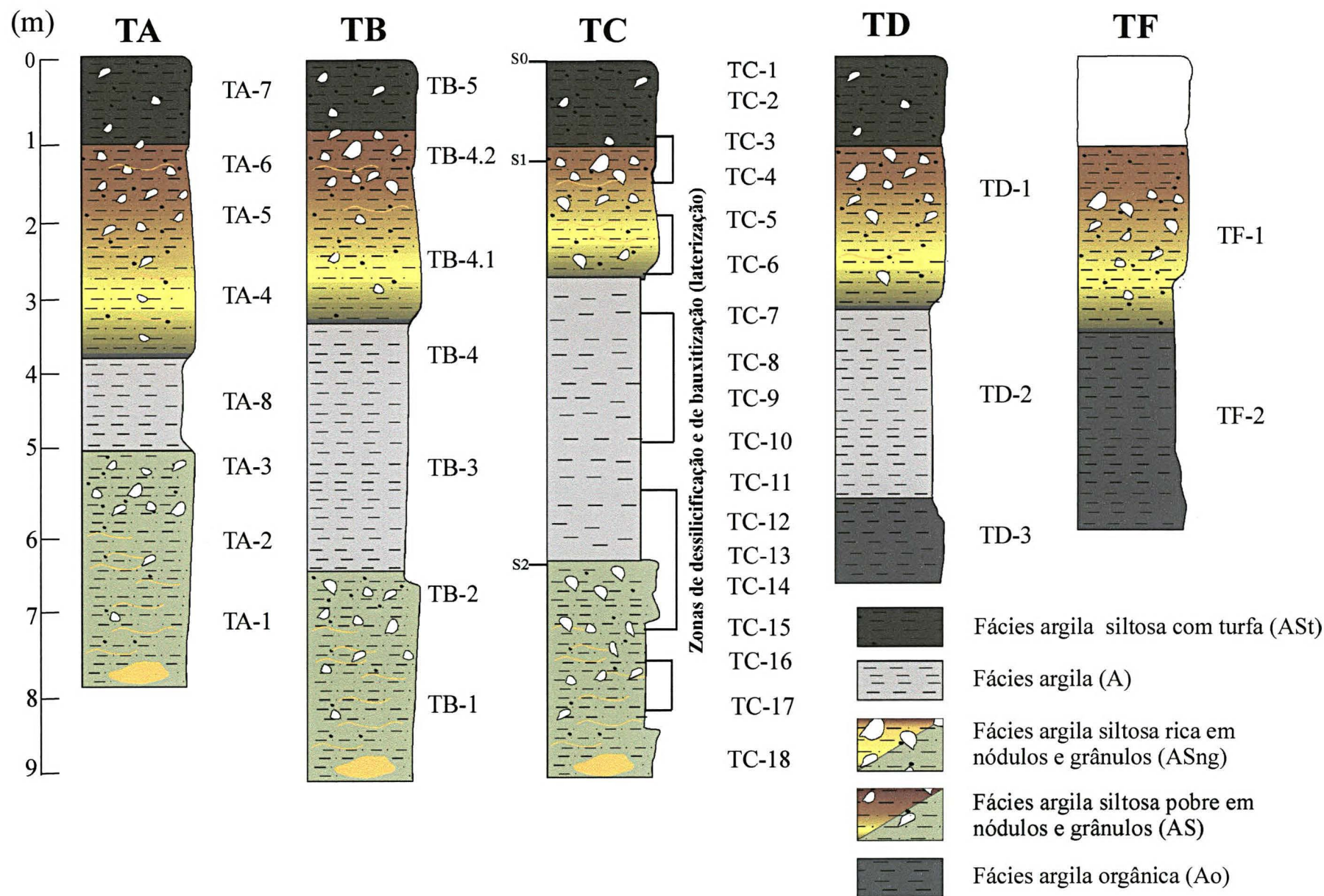


**Foto 4.2** - Disposição e forma de ocorrência dos "anéis de Liesengang" nas fácies do depósito. seção TC.





**Figura 4.1 - (A) Mapa topográfico de Tijucas do Sul (IBGE, 1992). (B) Localização das seções colunares estudadas, em mapa planimétrico esquemático da Mina Fazendinha. Baseado em informações da Mineração Tabatinga.**



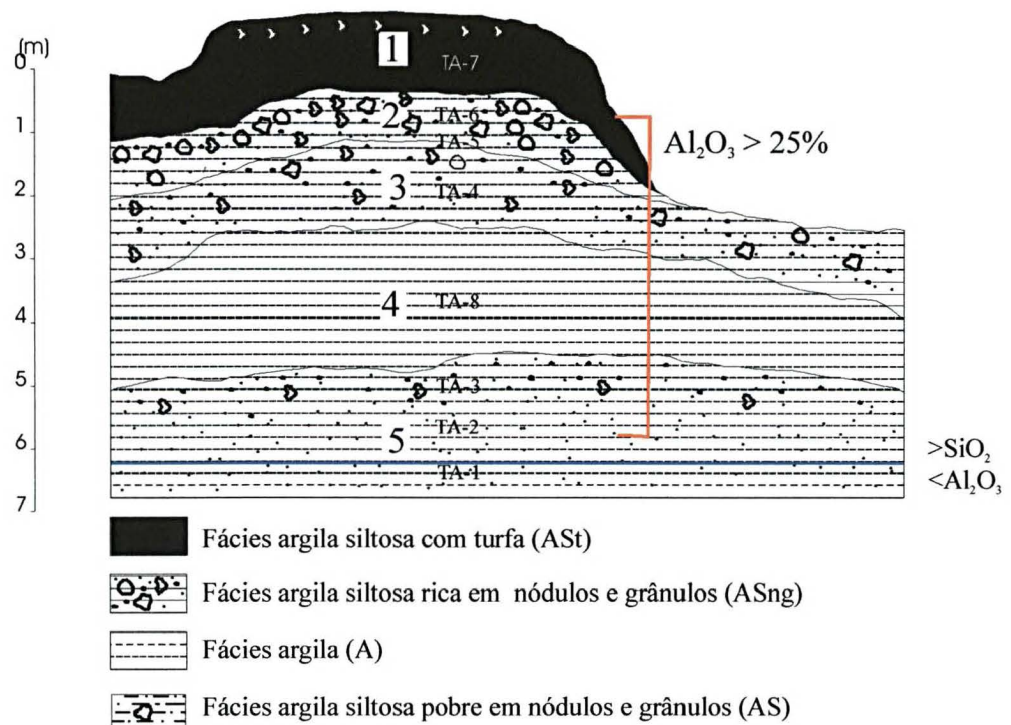
**Figura 4.2** - Seções colunares de frente de lavra da Mina Fazendinha. A amostragem foi feita com base nestas seções. S0= superfície atual; S1 e S2 = paleossuperfícies; TA, TB, TC, TD e TF = pontos amostrados.





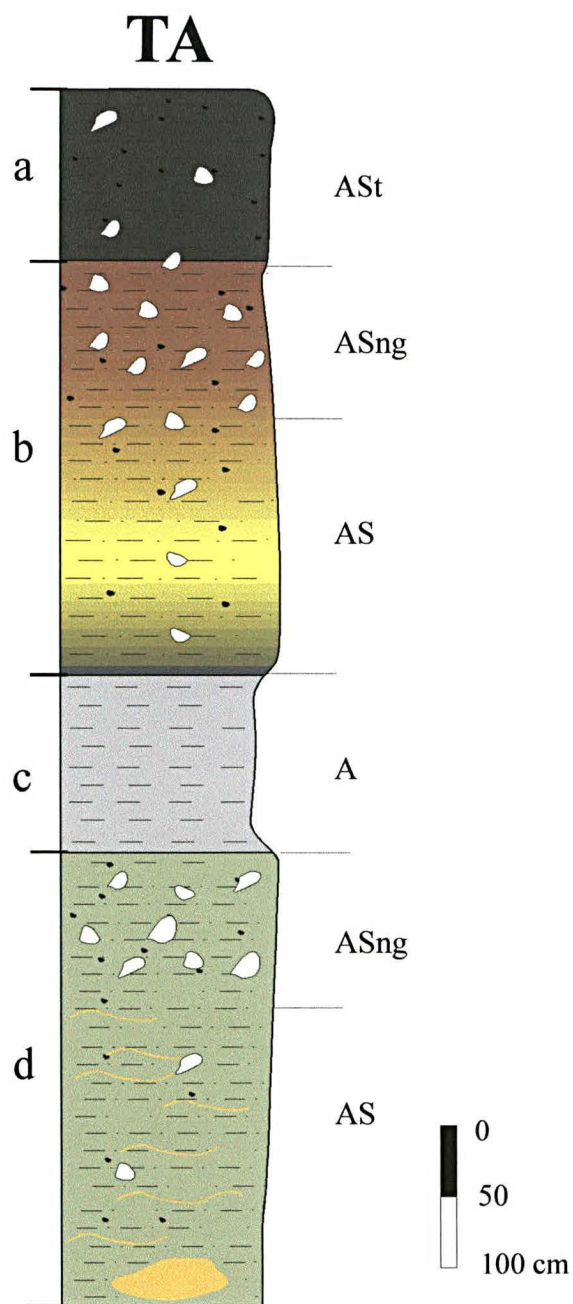
**Foto 4.3** - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TA:

1- fácies argila siltosa com turfa (ASt) 2 e 5 fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng) 3 e 6 fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS), 4-fácies argila (A)



**Figura 4.3 (a)** - Desenho esquemático de fácies na seção TA.





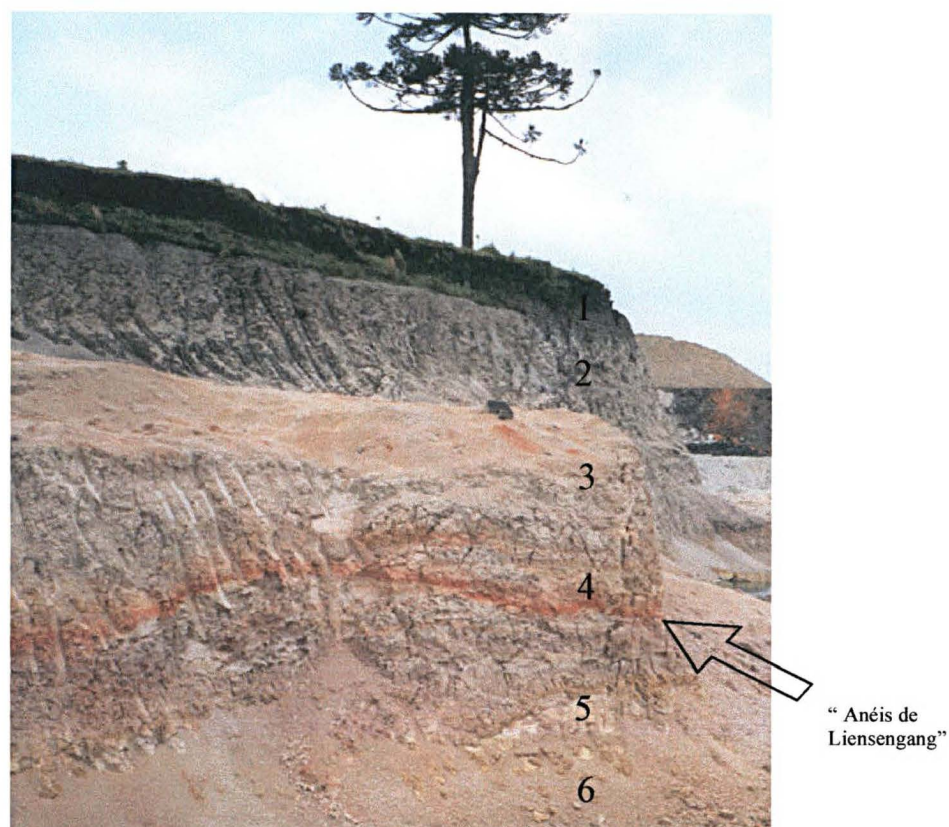
**Figura 4.3 (b)** - Seção colunar (TA) com indicação das composições das fácies.

a - Argila siltosa preta com turfa (quase sempre com nódulos e grânulos). Fácies ASt.

b - Argila siltosa, marron (gradando para creme e cinza no aprofundamento da seção) com intercalações de linhas avermelhadas - "anéis de Liensengang". Contém nódulos de gibbsita e grãos quartzosos angulosos e de feldspatos alterado. A gibbsita é predominantemente esférica, com granodecrescência descendente em tamanho e em quantidade. Fácies ASng + AS.

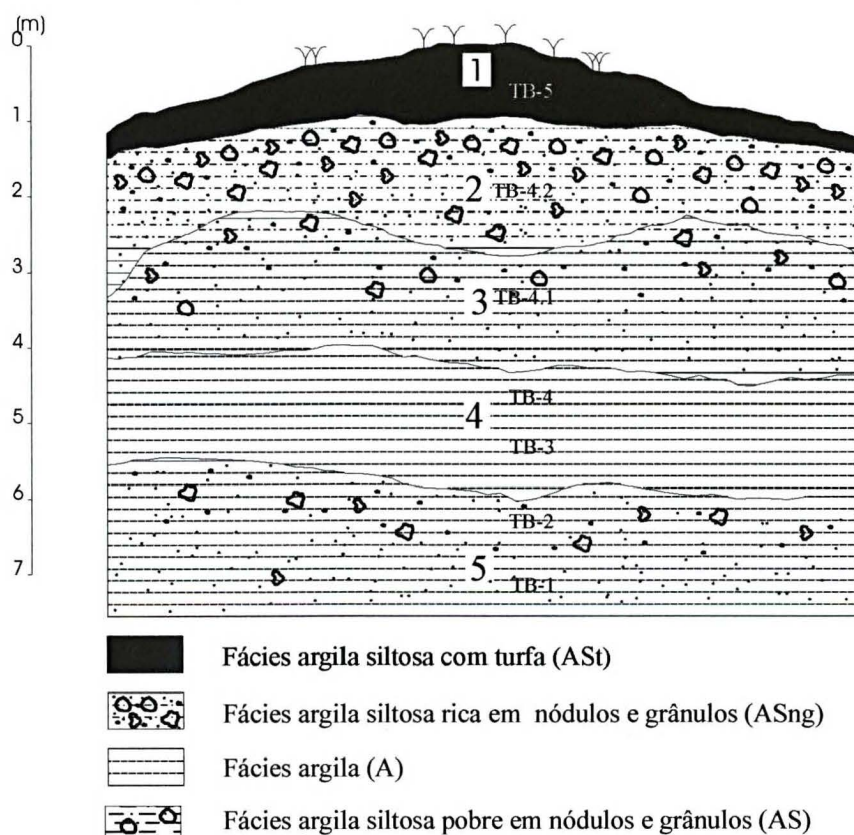
c - Argila cinza, homogênea e maciça. Fácies A.

d - Argila siltosa cinza a ocre, com nódulos de gibbsita e grãos de quartzo e feldspato de características similares ao nível b, porém em menores quantidades. Fácies ASng + AS.

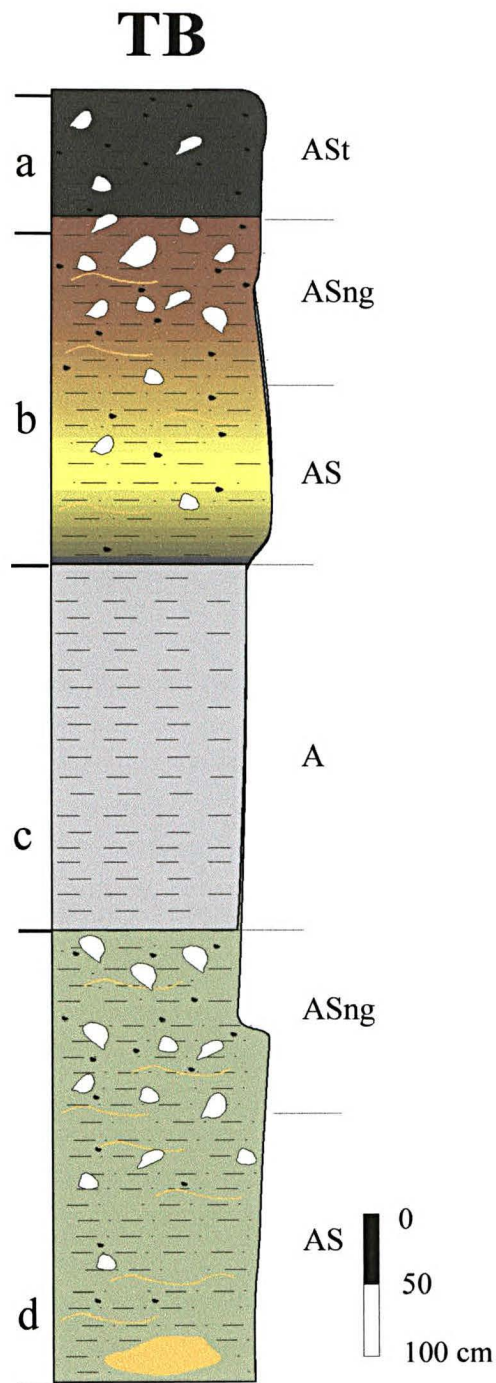


**Foto 4.4** - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TB:

1- fácies argila siltosa com turfa (ASt), 2 e 5- fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng), 3 e 6- fácies argilosa siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS) e 4- fácies argila (A)



**Figura 4.4 (a)** - Desenho esquemático de fácies na seção TB  
TB-1 a TB-5 = pontos amostrados.



**Figura 4.4 (b)** - Seção colunar TB com indicação das composições das fácies.

a - Argila siltosa preta, com turfa (com nódulos e grânulos esparsos). Fácies ASt.

b - Argila siltosa marron (gradando para amarelo e cinza), com nódulos de gibbsita e grânulos de quartzo e de feldspato. Fácies ASng e AS. É freqüente a interceptação por "anéis de Liensengang".

c - Argila cinza, homogênea e maciça. Fácies A.

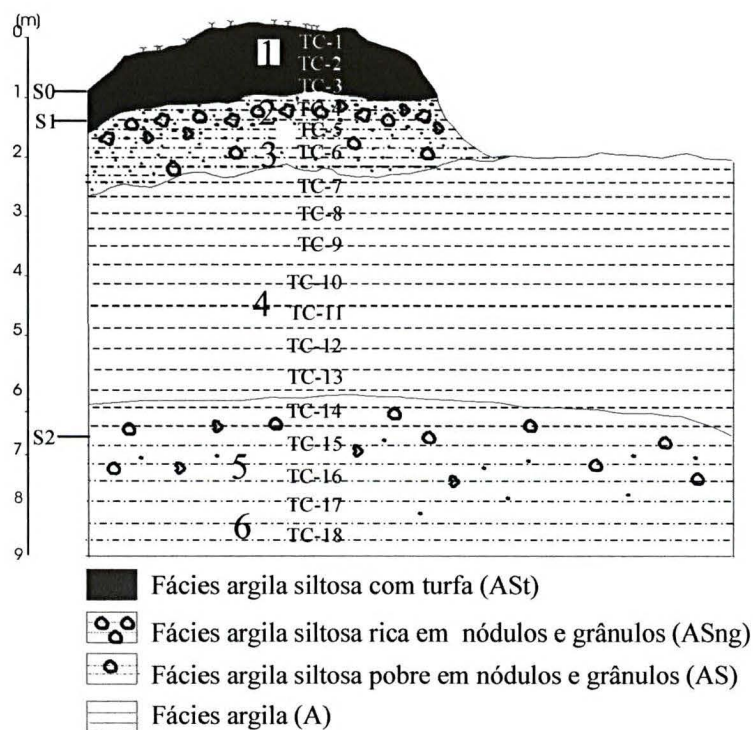
d - Argila siltosa cinza a amarelo, com nódulos de gibbsita e grânulos de quartzo e de feldspato de características similares ao nível b, porém em menores quantidades. Fácies ASng e AS. Além dos "anéis de Liensengang" ocorrem bolsões arenosos de cor ocre alternados com a argila.



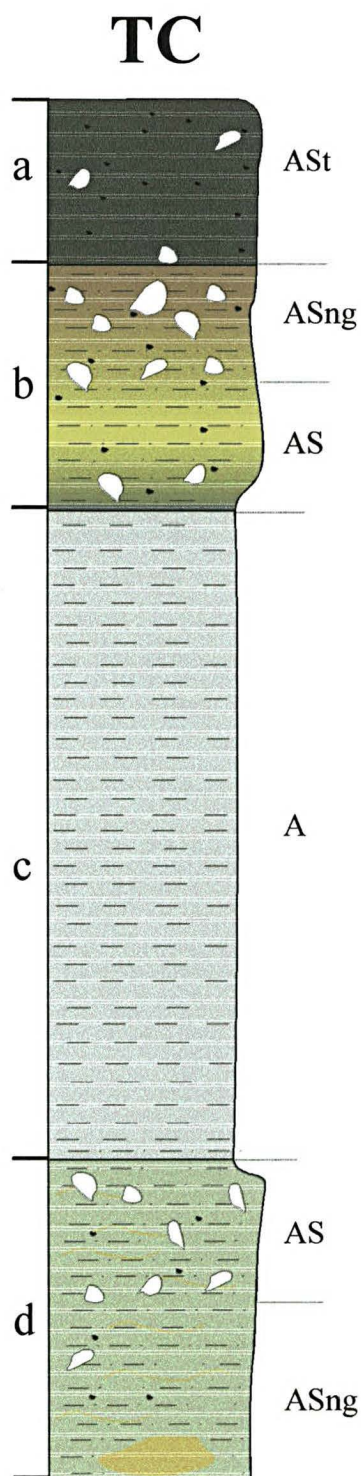


**Foto 4.5** - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TC:

1- fácies argila siltosa com turfa (ASt), 2 e 5- fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng) e 3 e 6- fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS) e 4- fácies argila (A)



**Figura 4.5 (a)** - Desenho esquemático de fácies na seção TC. S0= superfície atual; S1 e S2 = paleossuperfícies. TC-1 a TC-18 = pontos amostrados.



**Figura 4.5 (b)** - Seção colunar TC com indicação da composição das fácies.

a - Argila siltosa preta de composição turfosa com nódulos e grânulos raros. Fácies ASt.

b - Argila siltosa marron a cinza com nódulos de gibbsita e grânulos angulosos de quartzo e de feldspato alterado. Os nódulos e grânulos com granodecrescência descendente. Contém "anéis de Liensengang". Fácies ASng e AS.

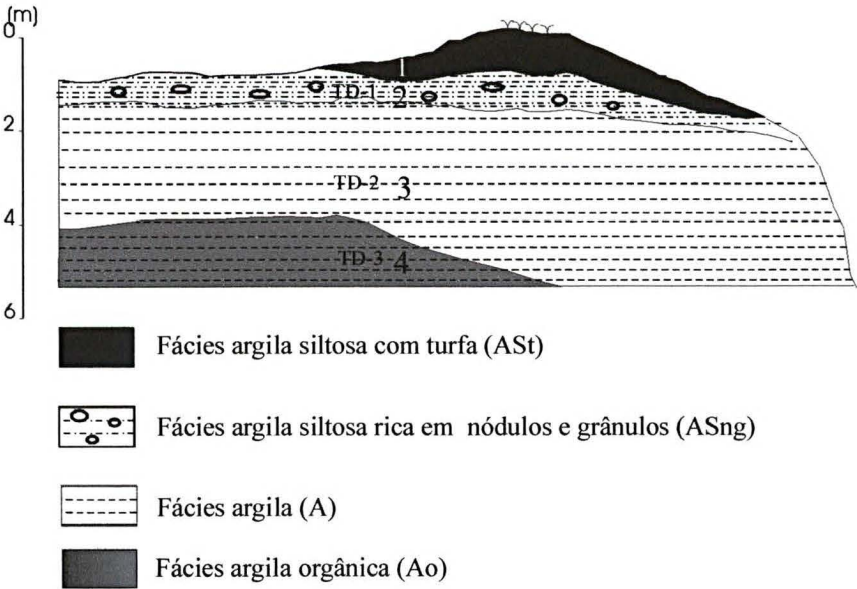
c - Argila cinza, homogênea e maciça. Fácies A.

d - Argila siltosa cinza com tons creme a vermelhos. Este nível apresenta características similares ao nível b, porém com menores quantidades de nódulos e grânulos e freqüentes intercalações de bolsões arenosos de cor ocre.

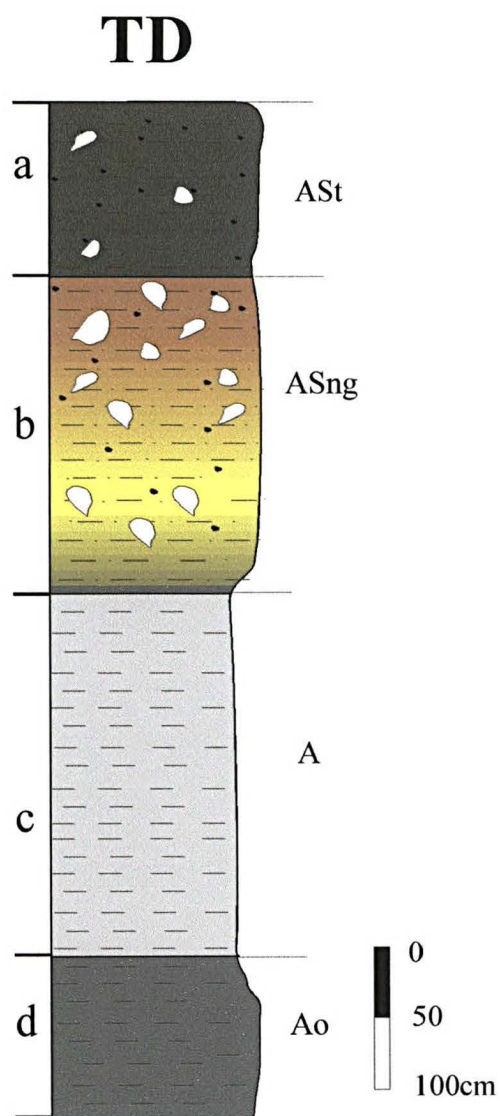




**Foto 4.6** - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TD:  
1 - fácies argila siltosa com turfa (ASt), 2 - fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng), 3 - fácies argila (A) e 4- fácies argila orgânica (Ao)



**Figura 4.6 (a)**- Desenho esquemático de fácies na seção TD.  
TD-1 a TD-3; pontos amostrados.



**Figura 4.6 (b)** - Seção colunar TD com indicação dos componentes mineralógicos das fácies.

a - Argila siltosa preta, com turfa e nódulos de gibbsita e grânulos de quartzo e feldspato esparsos. Fácies ASt.

b- Argila siltosa marron rica em nódulos e grânulos. Fácies ASng.

c - argila cinza esbranquiçada, maciça e homogênea localizada logo acima da fácies orgânica. Fácies A.

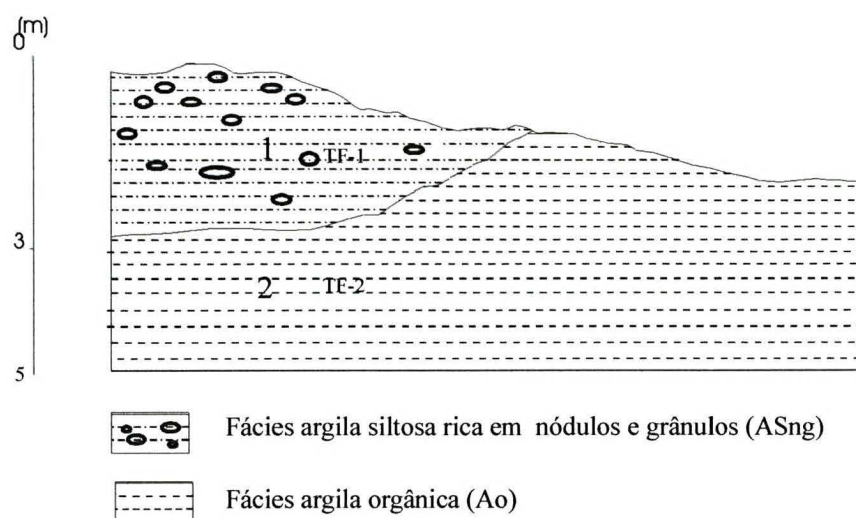
d - Argila preta, homogênea e maciça, com matéria orgânica. Fácies Ao.





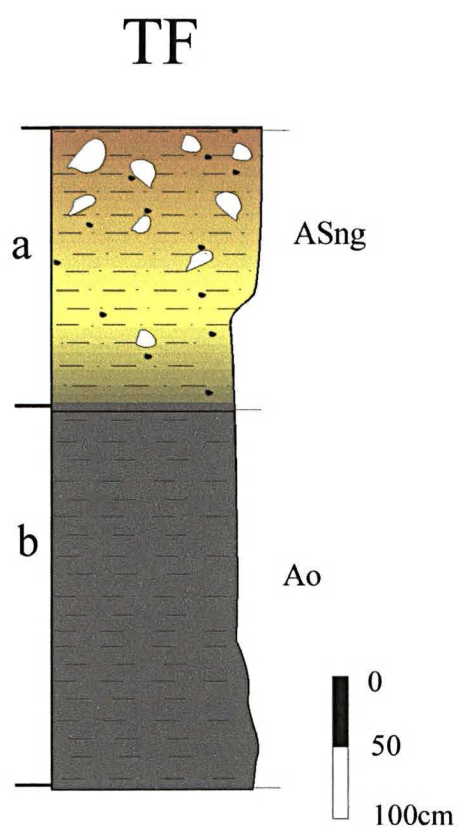
**Foto 4.7** - Aspecto geral das fácies identificadas na seção TF:

1- fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng) e 2- fácies argila orgânica (Ao)



**Figura 4.7 (a)**- Desenho esquemático de fácies na seção TF TF-1 e TF-2; pontos amostrados.





**Figura 4.7 (b)** - Seção colunar TF com indicação da composição das fácies.

a - Argila siltosa, marron a cinza, rica em nódulos e grânulos. Fácies ASng.

b - Argila cinza escura a preta, maciça e homogênea. Fácies Ao.

## 4.2 - SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES ARGILA, SILTE E GRÂNULOS + NÓDULOS

Os percentuais em peso das frações argila, silte e nódulos + grânulos (partículas com diâmetros acima de 2 mm, retidas em peneiras com aberturas a partir de 9 mesh) de amostras representativas de duas seções colunares do depósito (Seção TA e TB) estão contidos na tabela 4.1 e representados através de histogramas de frequência simples (figuras 4.8 e 4.9) e do diagrama de Shepard, 1954 (figura 4.10). Optou-se pela representação em tabela e diagrama ternário com dados percentuais em peso de argila, silte e nódulos + grânulos, devida à relevância em quantidade de ocorrência destes últimos em relação à areia. Os histogramas representam tamanhos de partículas segundo escala de Wentworth com agrupamento da fração areia com os nódulos e grânulos. Os nódulos são de gibbsita e os grânulos, de quartzo e/ou feldspato. O quartzo é predominantemente subarredondado e o feldspato encontra-se alterado e fragmentado.

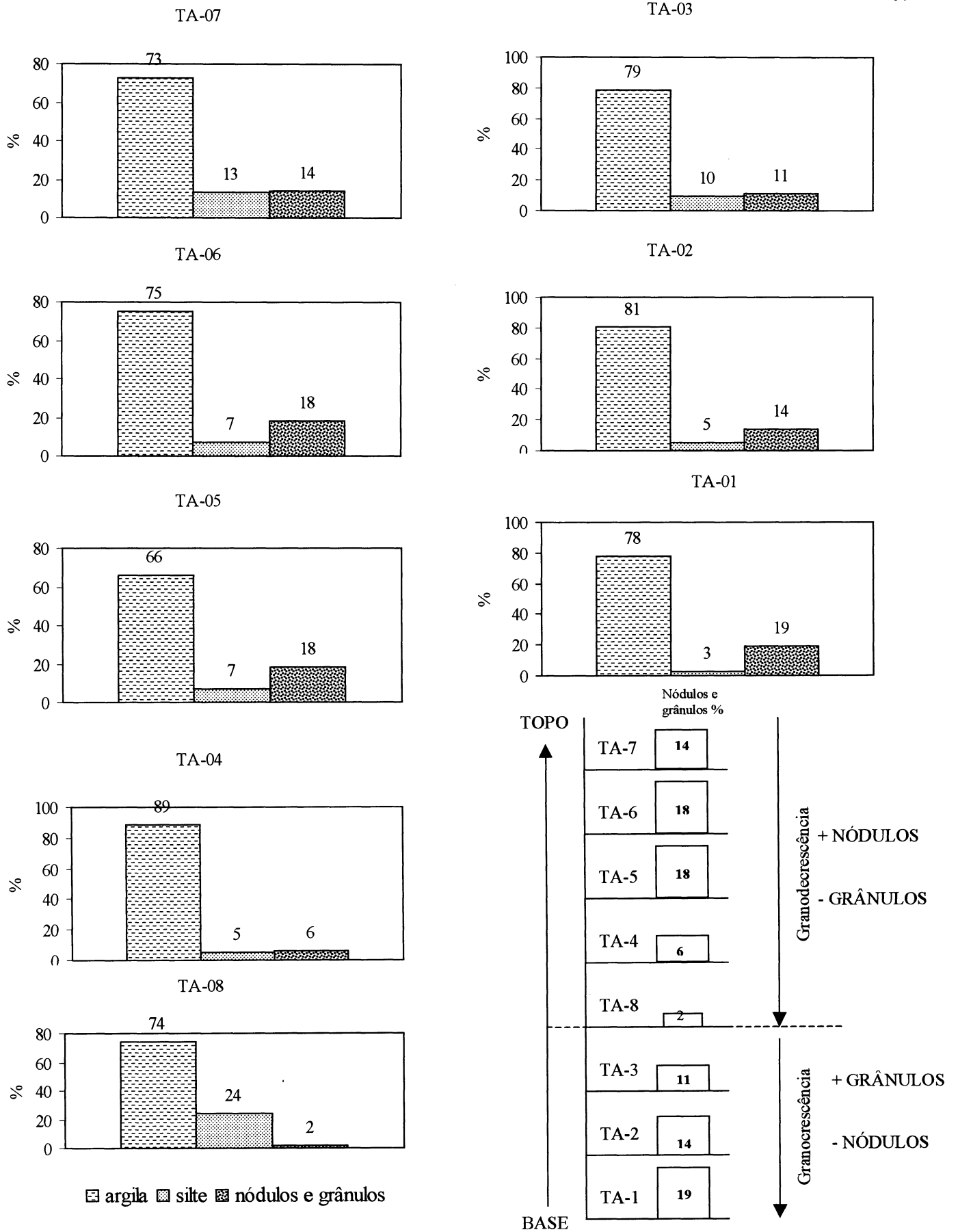
As amostras da fácies argila (TA-08, TB-03 e TB-04) têm percentuais da fração granulométrica argila entre 74% e 90%. Na fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (TA-03, TA-05, TA-06, TB-02 e TB-4.2) a fração argila fica entre 65% e 78%. Para a fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (TA-01, TA-02, TA-04, e TB-4.1) a fração granulométrica em argila está entre 79% e 86%.

As granulometrias correspondentes aos nódulos e grânulos das seções analisadas (TA e TB) formam dois agrupamentos de natureza textural diferente (Figs. 4.8 e 4.9). Tanto para a seção TA como para a TB as fácies ASng e AS, posicionadas acima da fácies A, mostram um caráter granodecrescente do topo para a base. Considerando que os nódulos de gibbsita são formados *in situ*, o caráter heterogêneo dos nódulos, no caso, a granodecrescência, foi atribuído ao posicionamento mais superficial dos sedimentos e a presença de clastos que serviram como germes de cristalização, com favorecimento da ação hidrolítica e da precipitação de hidróxidos de

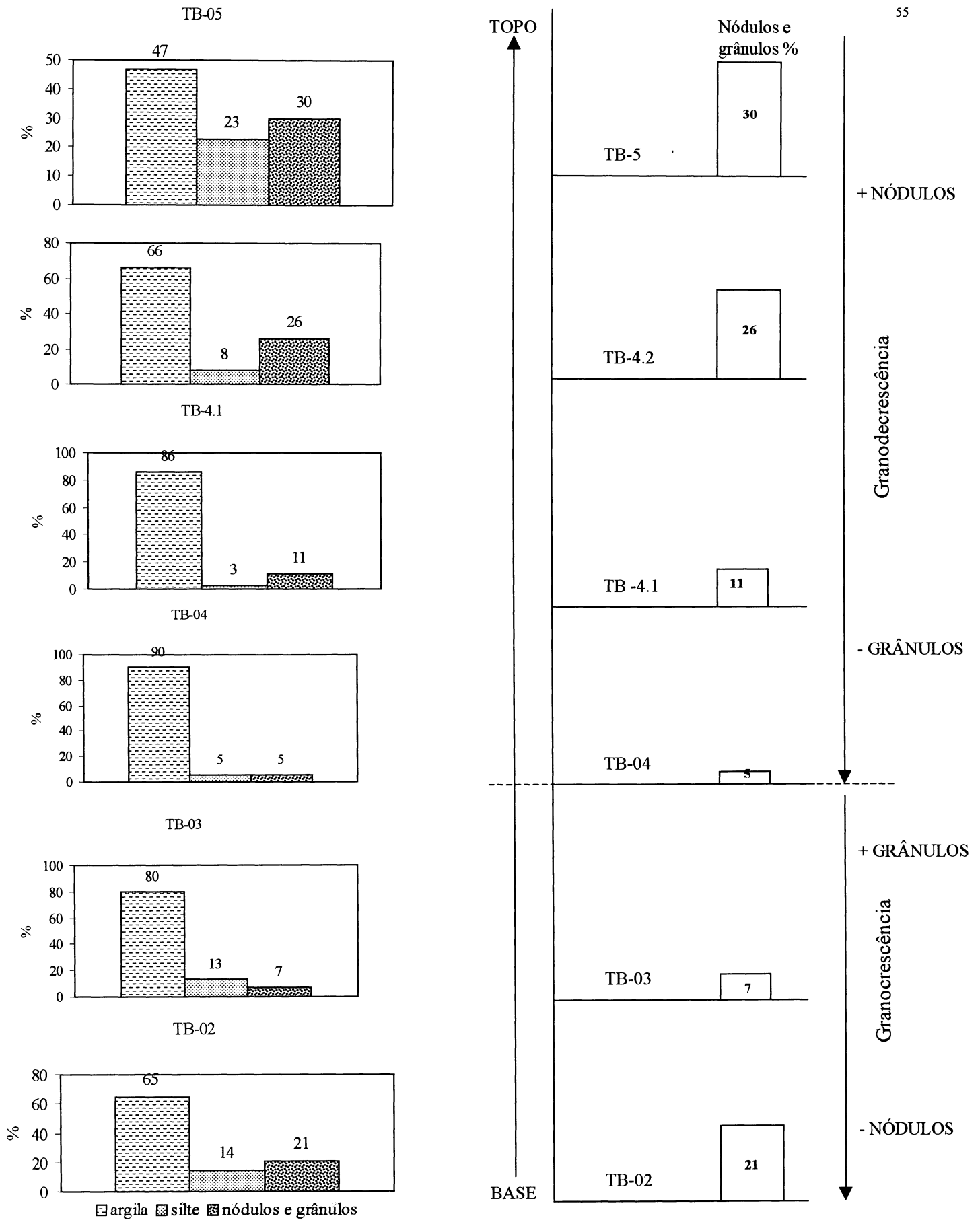
alumínio. Com o aprofundamento do perfil ocorre uma diminuição gradativa de tais processos, possivelmente devido à menor percolação de fluidos e à menor quantidade de grãos de quartzo e feldspato (que poderão ter sido os germes de cristalização das gibbsitas nodulares) (fig. 4.8). Já nas posições correspondentes às fácies ASng e AS, situadas abaixo da fácies argila (A), constatou-se, através das análises granulométricas, uma granodecrescência normal (os nódulos e grânulos diminuem em tamanho e em quantidade, da base para o topo) (fig. 4.9). Dada à incompatibilidade com as observações de campo (gradação inversa, como nas lentes acima da fácies argila), tal característica foi atribuída a uma heterogeneidade de ocorrência de grânulos que serviriam como germes de cristalização. A ausência desses grânulos diminui a quantidade de nódulos de gibbsita formados “in situ”, e a granocrescência torna-se normal, controlada mais pela presença de grânulos que de nódulos. A amostra TB-05, representativa da fácies argila siltosa com turfa (ASt), é um pouco mais rica em silte e apresenta considerável presença de nódulos e grânulos (30%). A TA-08 e a TB-04, representativas da fácies argila, são nitidamente marcadas por pequena quantidade de nódulos e grânulos, 2% e 5% respectivamente. Em diagrama ternário modificado de Shepard (1954), as amostras se classificam como argila e argilas silticas (Figura 4.10).

% das frações				
SEÇÃO TA	Amostras/Fácies	Argila	silte	Nódulos de gibbsita + grânulos (quartzo e/ou feldspato)
	TA-01 / AS	78,0	3,0	19,0
	TA-02 / AS	81,0	5,0	14,0
	TA-03 / ASng	79,0	11,0	10,0
	TA-04 / AS	89,0	5,0	6,0
	TA-05 / ASng	66,0	7,0	18,0
	TA-06 / ASng	75,0	7,0	18,0
	TA-07 / ASt	73,0	13,0	14,0
	TA-08 / A	74,0	24,0	2,0
SEÇÃO TB	TB-02 / ASng	65,0	14,0	21,0
	TB-03 / A	80,0	13,0	7,0
	TB-04 / A	90,0	5,0	5,0
	TB-4.1 / AS	86,0	3,0	11,0
	TB-4.2 / ASng	66,0	8,0	26,0
	TB-05 / ASt	47,0	23,0	30,0

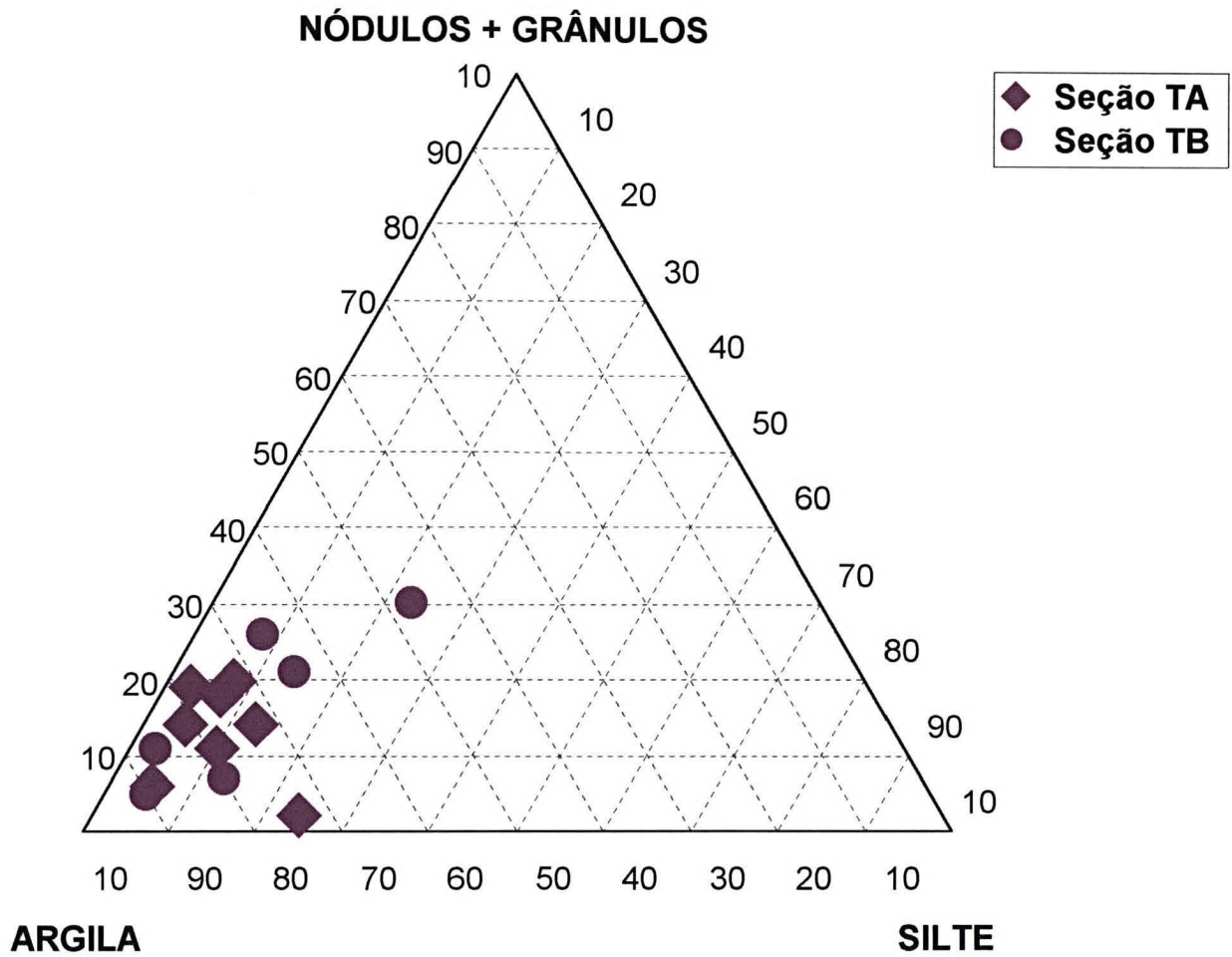
**Tabela 4.1** – Resultados das análises granulométricas de amostras da seção TA e TB.



**Figura 4.8** - Histogramas representativos das granulometrias predominantes com indicação gráfica do percentual de nódulos e grânulos. Seção TA.



**Figura 4.9** - Histogramas representativos das granulometrias predominantes com indicação gráfica do percentual de nódulos e grânulos. Seção TB.



**Figura 4. 10** - Classificação para os sedimentos da Mina Fazendinha. Segundo Shepard (1954), modificado.

### **4.3 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA**

O minério da Mina fazendinha tem composição mineralógica dominada por quartzo, caulinita e illita. A caulinita, por constituir o argilomineral predominante, foi objeto de considerações mais detalhadas.

#### **4.3.1 - Difração de raios X**

Por meio da observação e interpretação dos difratogramas de raios X e da microscopia eletrônica, foram identificados os principais minerais das diferentes fácies presentes nas seções estudadas (seções TA, TB, TC, TD e TF) (Figura 4.1 e 4.2). Foram obtidos difratogramas de amostras sem tratamentos prévios e com orientação preferencial, para amostras totais, e difratogramas de amostras sedimentadas aquecidas e tratadas com etileno glicol (EGL) para amostras da fração menor que 44 $\mu$ m (Figuras 4.11 a 4.24).

Foi observado que todas as amostras apresentam composições mineralógicas semelhantes, ou seja: caulinita, quartzo e illita. Sendo também muito comum a associação de gibbsita e ocorrências esporádicas de clorita/vermiculita e anatásio.

Na fácies argila e argila siltosa pobre em gibbsita, os picos da caulinita são mais intensos que os das amostras da fácies argila siltosa rica em gibbsita. As raia correspondentes ao quartzo são mais intensas nas fácies argila siltosas, embora sejam verificadas, e existam, com menor intensidade, na fácies argila.

As fácies argila siltosas e argila diferenciam-se entre si, basicamente pela variação textural granulométrica entre as amostras, visto a constituição mineralógica ser muito similar.

Em todas as amostras da fácies argila (figuras 4.14, 4.15, 4.19 e 4.21) os picos de caulinita de maior intensidade são bem definidos – 7,18/7,27 A° 3,59/3,57 A° (planos 001 e 002). A não



resolução dos picos de menor intensidade – 4,18 A°, 4,13 A°, 3,85 A°, e a 4,74 A° associada a um conjunto de três reflexões mal definidas nas regiões a 2,56 A° e a 2,34 A°, com reflexões 001 e 002 mais intensas que a 020, indicou predomínio de caulinita com desordem no eixo b, segundo método de Warshaw e Roy (1961) *apud* Souza Santos, 1989. Por este mesmo método foi confirmada a presença de argilominerais do grupo da caulinita através da constatação da reflexão 060 em  $d=1,49$  A° em amostras totais não orientadas. A observação do restante do difratograma, segundo esse método e a ausência de estruturas tubulares observadas ao microscópio eletrônico, confirmou a presença da caulinita com desordem no eixo b (Figuras 4.11 a 4.23) como predominante e a ausência de halloysita.

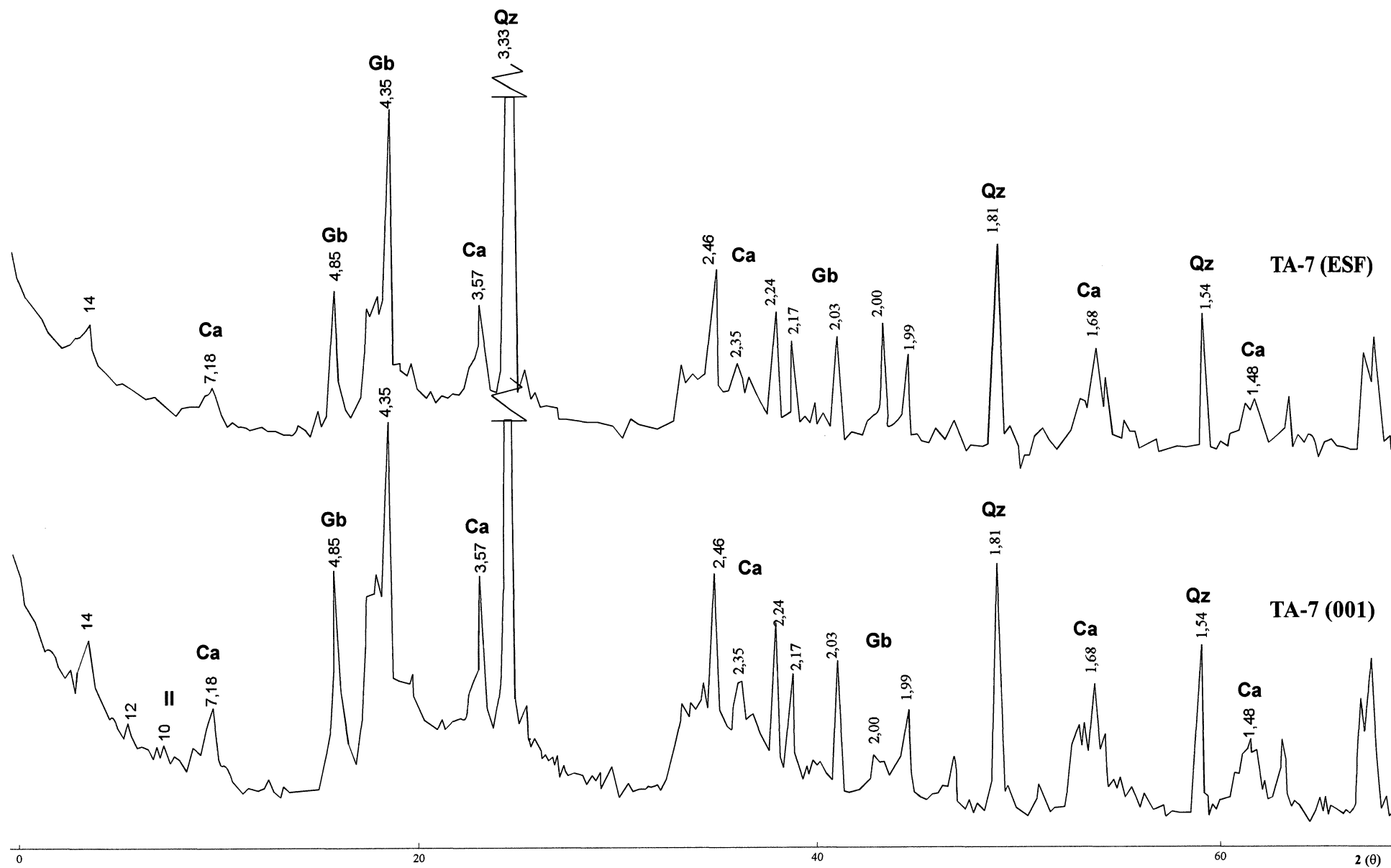
São identificados nesses difratogramas picos de muito menor intensidade ou mesmo bandas mal definidas na região próxima a 10 A°, indicando a illita como outro argilomineral constituinte da fácies argilosa. Na maioria das amostras podem ser encontradas bandas difusas entre 12 A° e 14 A°, indicativas da presença de minerais do grupo da clorita/vermiculita. Picos entre 4,85 A° e 4,82 A° sugerem presença de gibbsita.

As fácies argila siltosas (rica e pobre em nódulos e grânulos) conforme difratogramas das figuras 4.18 a 4.22, apresentam composição mineralógica similar à fácies argila, ou seja, quartzo, caulinita e illita, porém, com marcante presença de gibbsita. Em algumas amostras a gibbsita exhibe todo o espectro de reflexão do cristal (Figuras 4.18, 4.19 e 4.22). Nestas fácies os picos de quartzo são mais agudos e intensos e expressam a fração silte que as compõem e os teores elevados em SiO<sub>2</sub>.

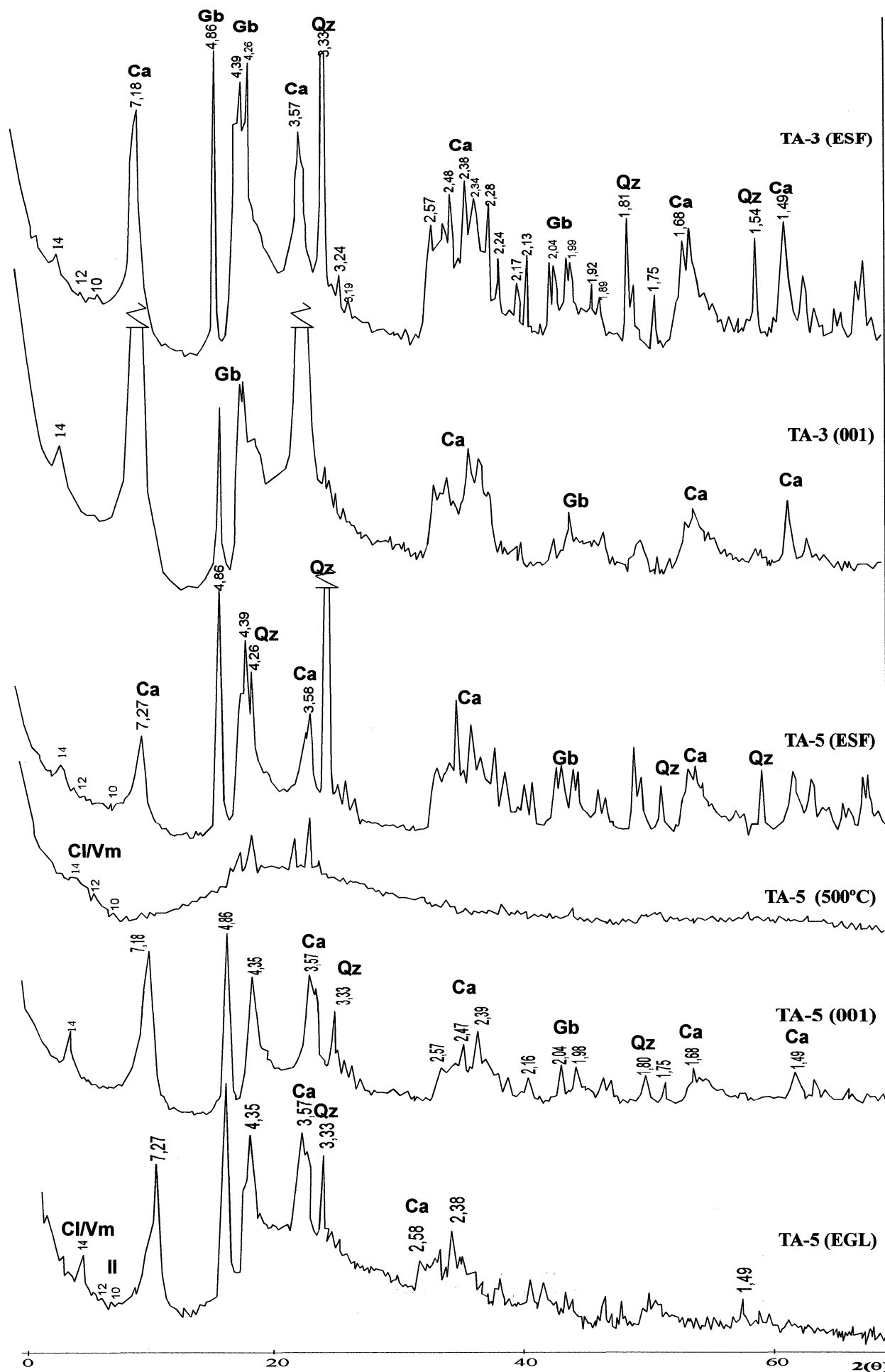
Para um melhor detalhamento da composição mineralógica das fácies e para comprovação dos argilominerais já mencionados, foram obtidos difratogramas da fração argila menor que 44µm, aquecidos, orientados e tratados.

Os picos correspondentes às micas, com distanciamento basal de  $10 \text{ \AA}$ , possivelmente illita, são mais intensos e melhor definidos nas amostras da fácies argilosa, com presença em maiores proporções, na fração  $<44\mu\text{m}$ .

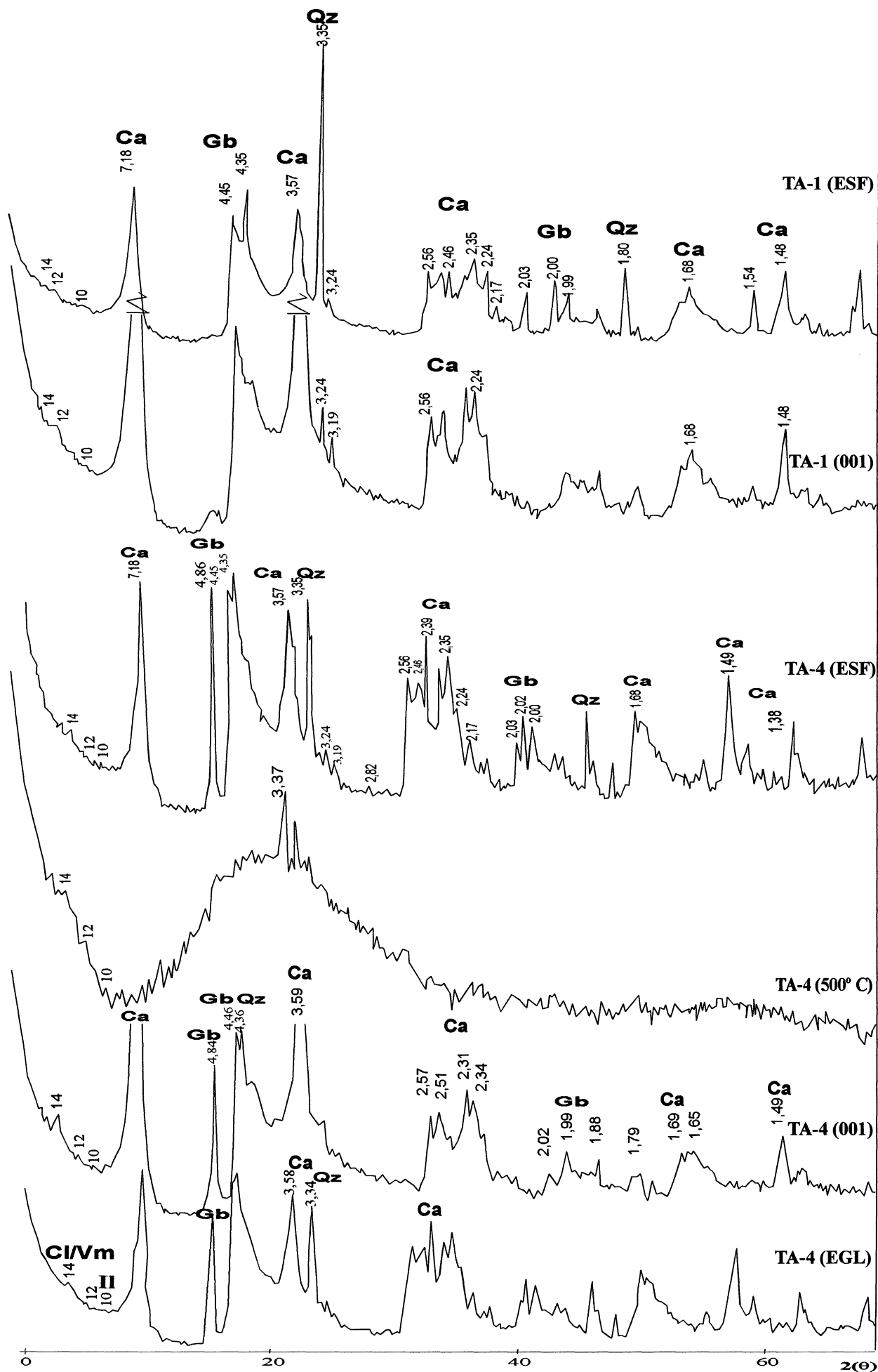
Nos difratogramas obtidos após aquecimento a  $500^\circ\text{C}$ , foi possível observar que os picos da região entre  $4,82/4,85 \text{ \AA}$  desaparecem, o que comprova a presença da gibbsita nesses sedimentos, estando melhor caracterizada em amostras da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos. Nestes mesmos difratogramas observa-se a permanência de bandas difusas entre 12 e  $14 \text{ \AA}$  indicando presença de clorita/vermiculita. A presença constante do pico a  $10 \text{ \AA}$  após tratamentos, confirma a illita como constituinte freqüente em todas as fácies do depósito.



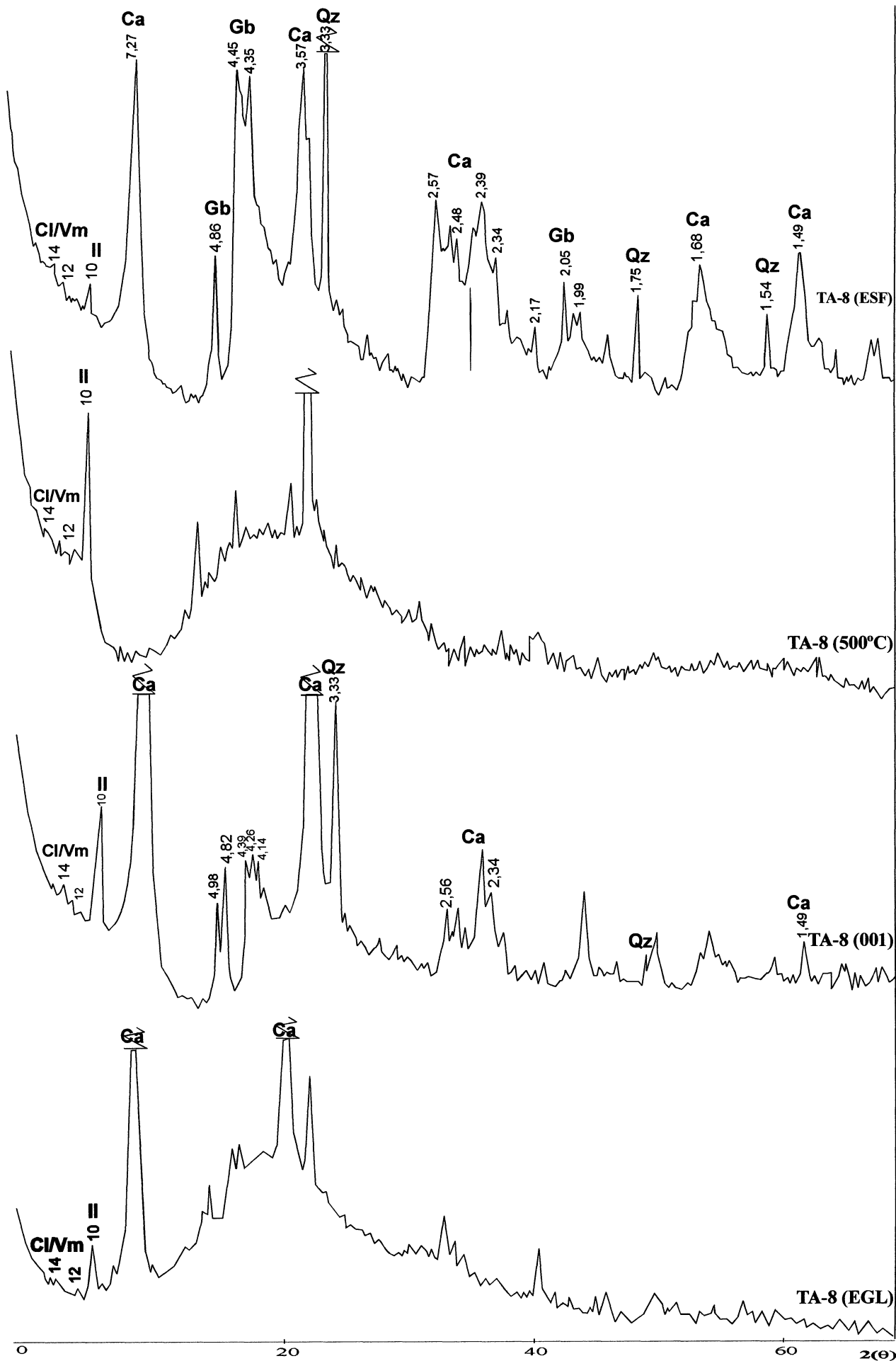
**Figura 4.11** - Difratogramas de raios X representativos da seção TA. Fácies ASt. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço e (001)= precipitado. Ca= caulinita, Qz= quartzo II= ilita e Gb= gibbsita.



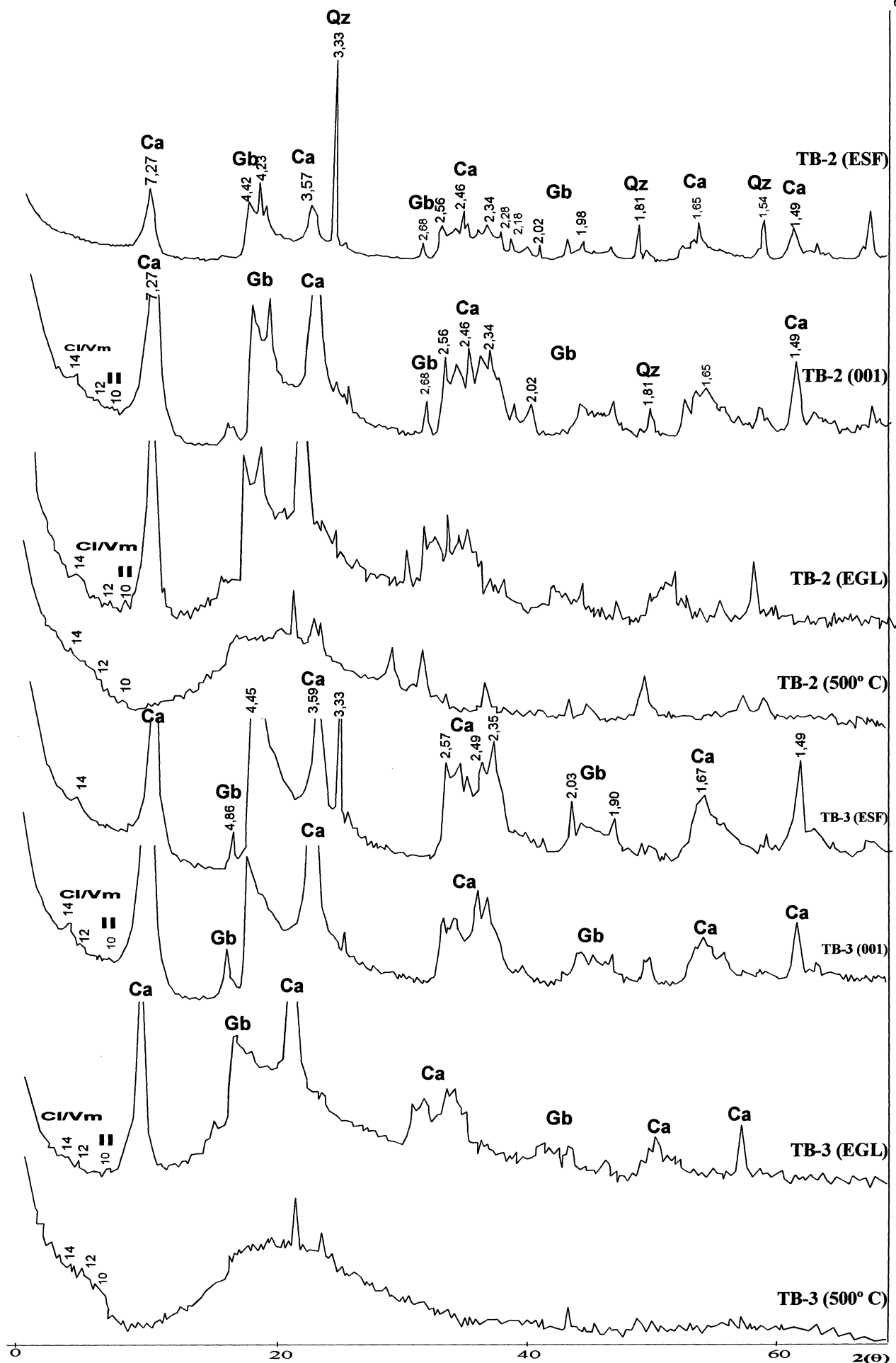
**Figura 4.12** - Difrátogramas de raios X representativos da seção TA. Fácies ASng. Amostra total e fração argila. ESF=esfregação, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz=quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



**Figura 4.13** - Difrátogramas de raios X representativos da seção TA. Fácies AS. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.

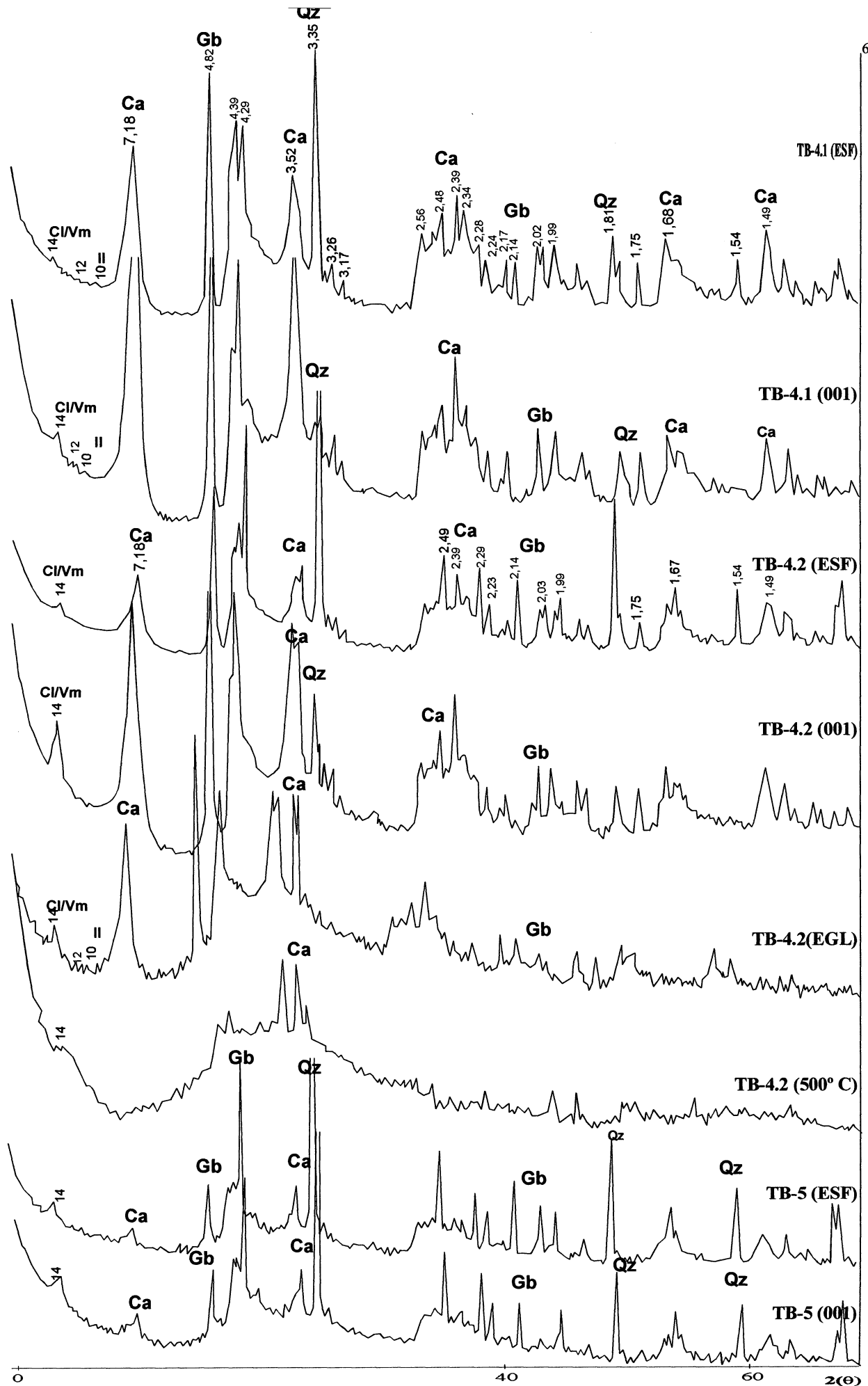


**Figura 4.14** - Difratomogramas de raios X representativos da seção TA. Fácies A. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.

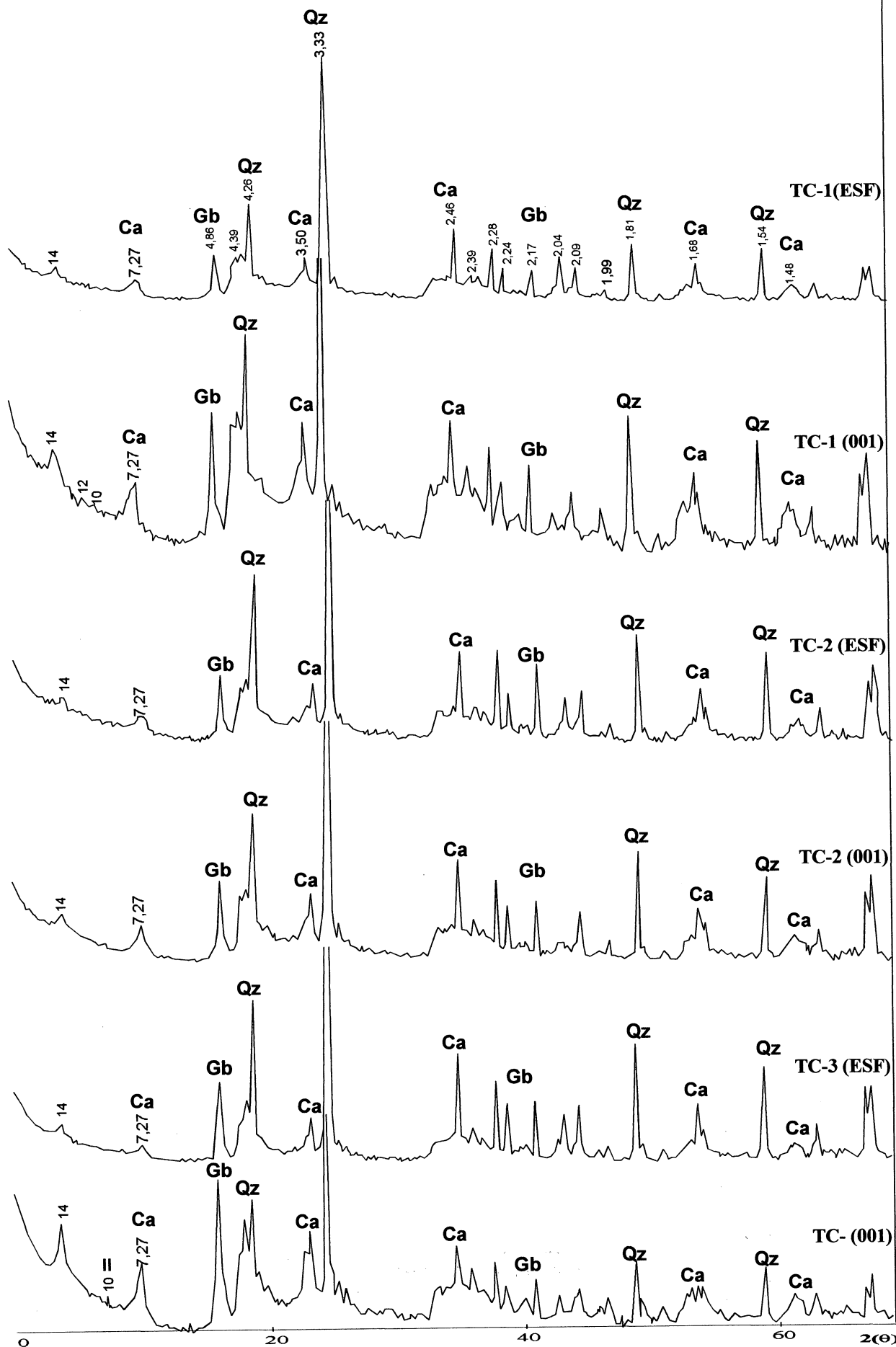


**Figura 4.15** - Difractogramas de raios X representativos da seção TB. Fácies ASng (TB-2) e fácies A (TB-3). Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.

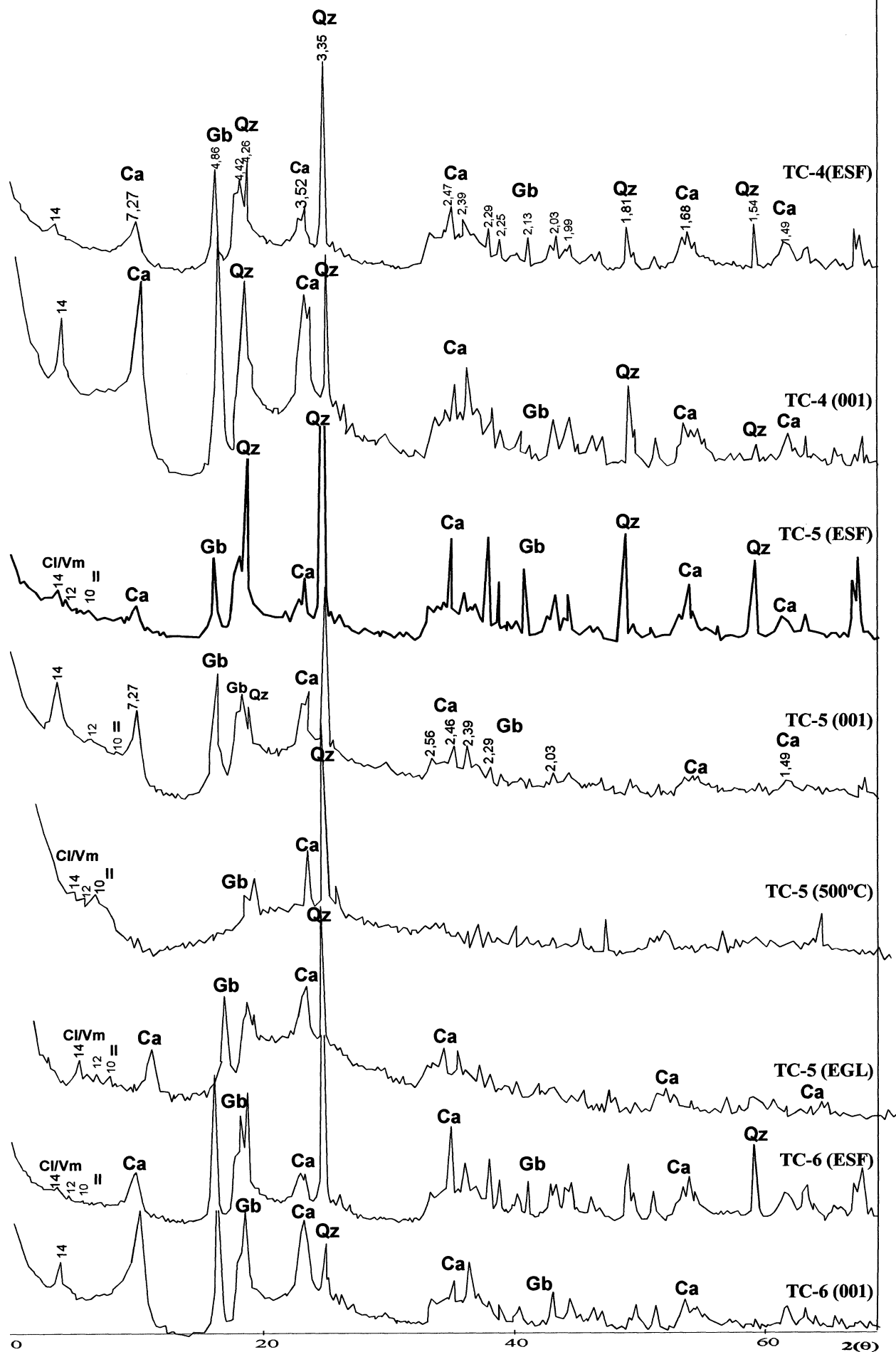




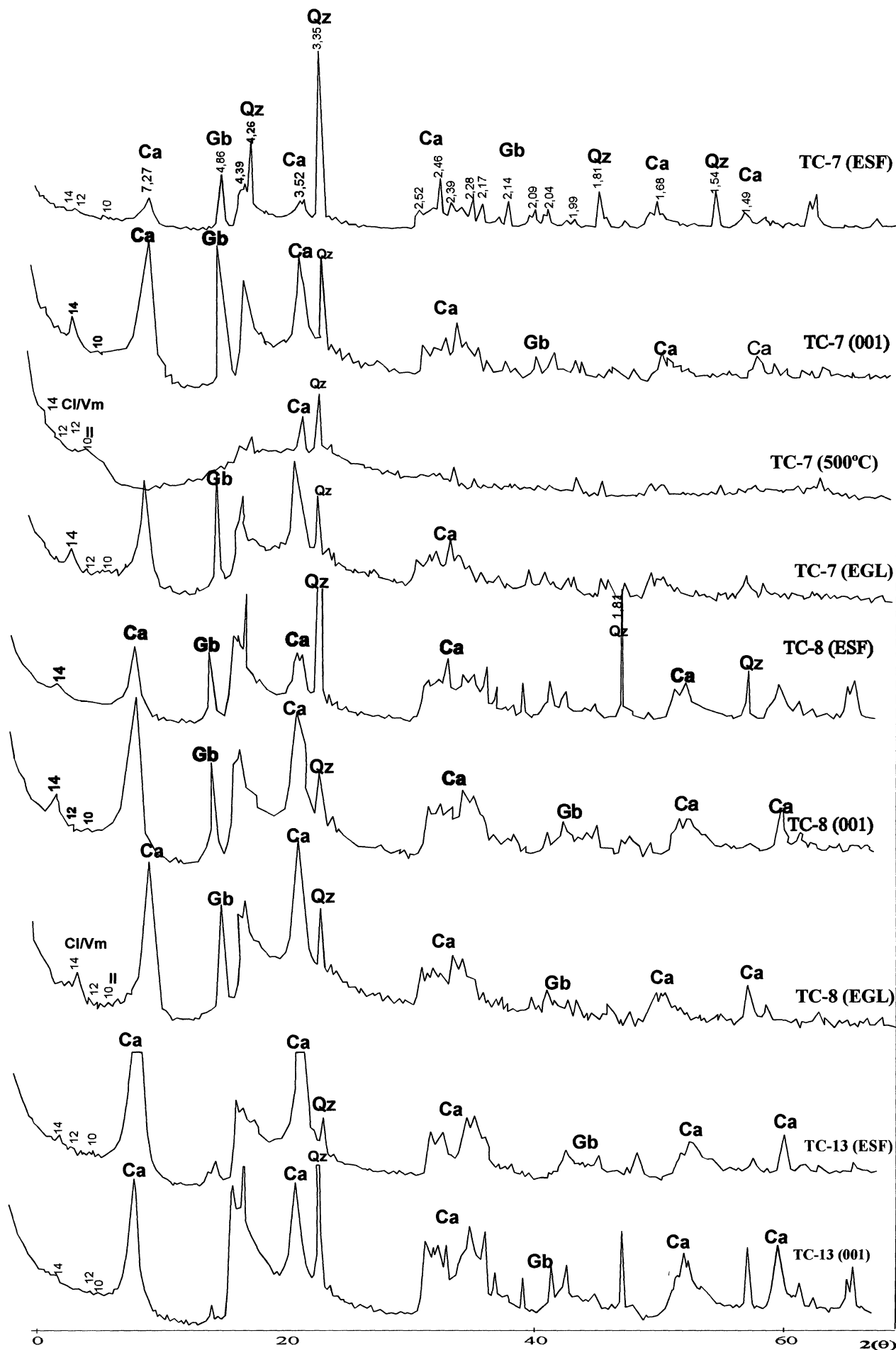
**Figura 4.16** - Difratogramas de raios X representativos da seção TB. Fácies AS (TB-4.1), fácies ASng (TB-4.2) e fácies ASst (TB-5). Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



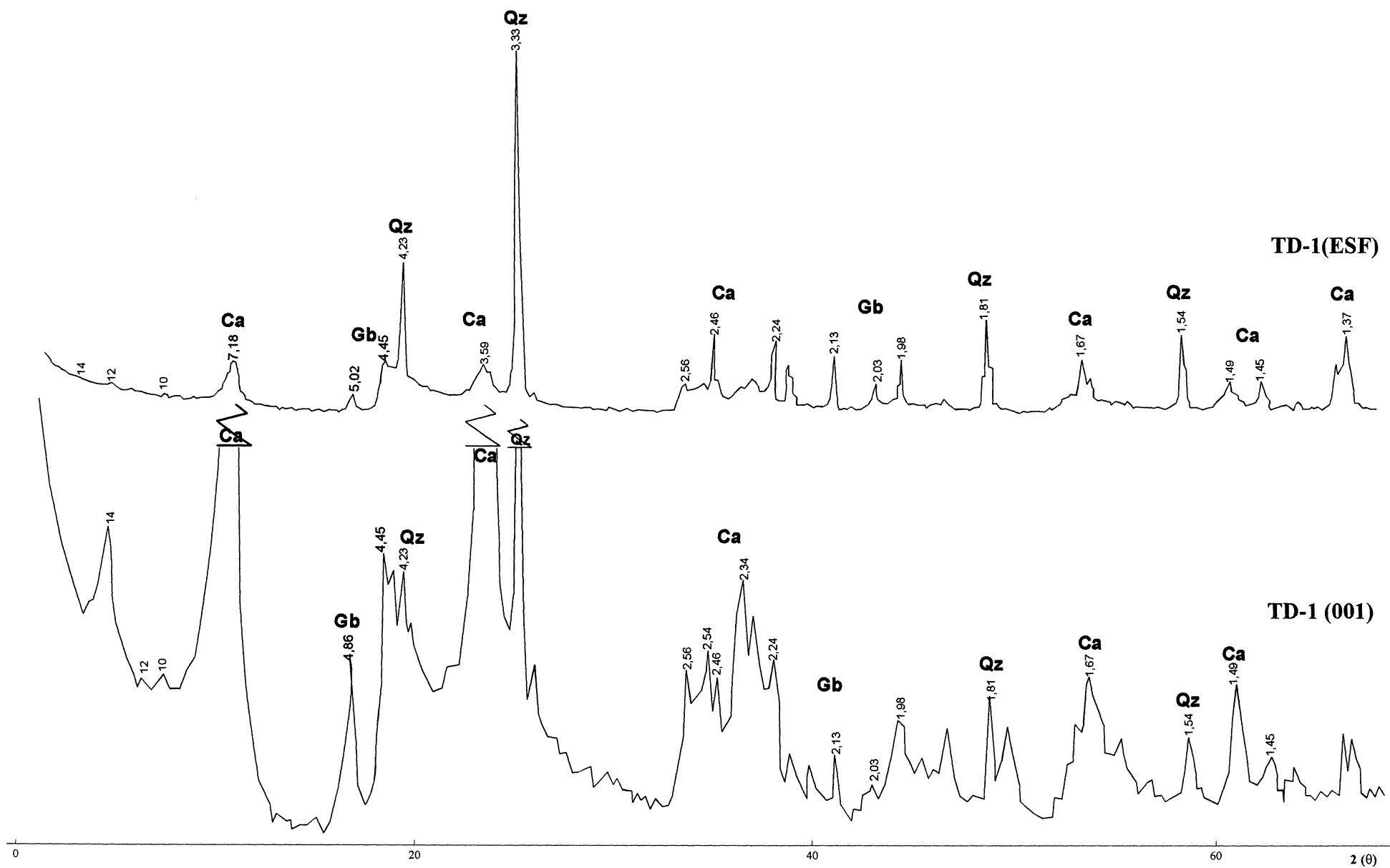
**Figura 4.17** - Difratogramas de raios X representativos da seção TC. Fácies ASt. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço e 001= precipitado. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



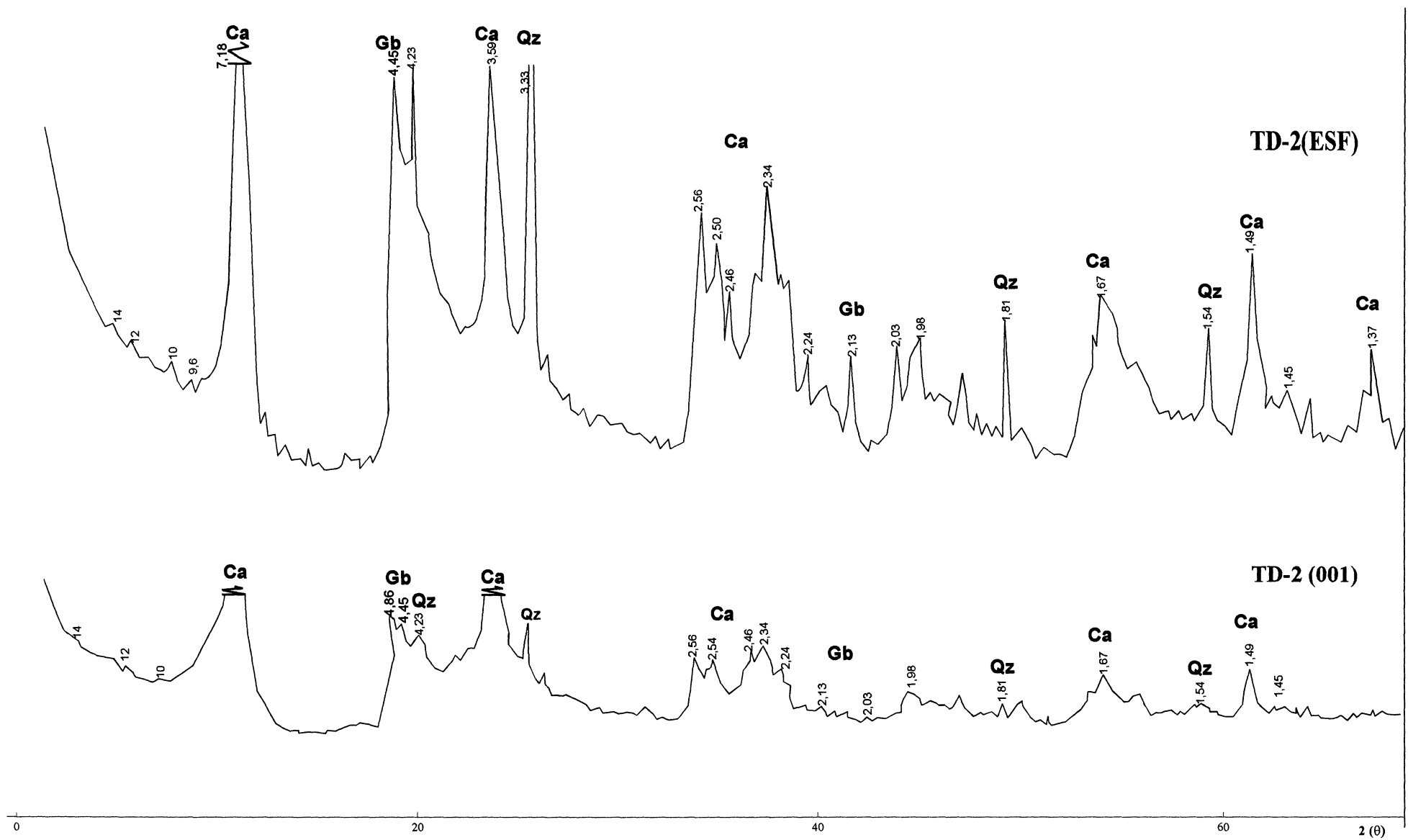
**Figura 4.18** - Difratomogramas de raios X representativos da seção TC. Fácies ASng (TC-4 e TC-5) e AS (TC-6). Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500°C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz=quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



**Figura 4.18** - Difratoigramas de raios X representativos da seção TC. Fácies A. Amostra total e fração argila. ESF=esfregação, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.

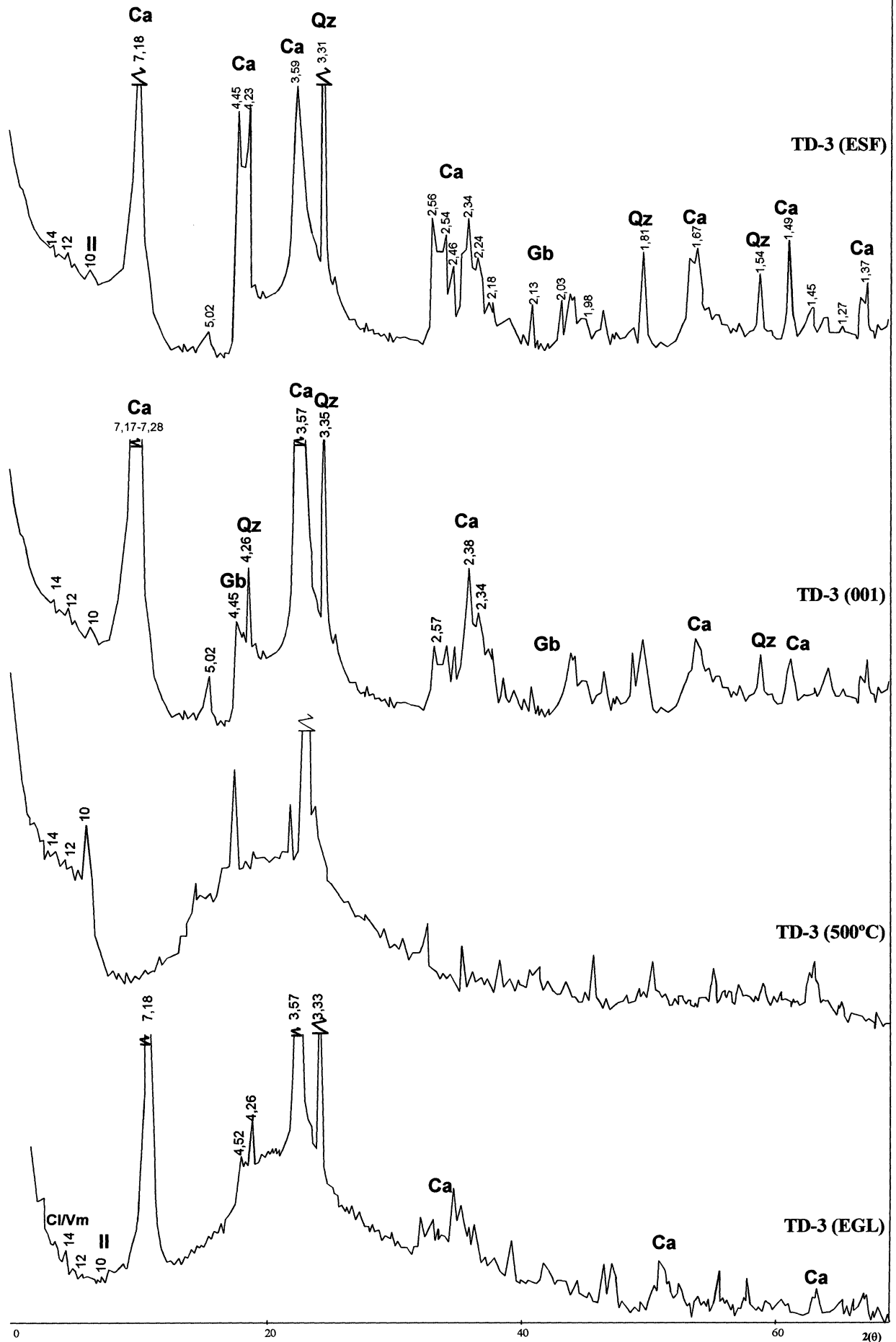


**Figura 4. 20** - Difrátogramas de raios X representativos da seção TD.Fácies ASng. Amostra total e fração argila. ESF= esfregaço, 001= precipitado. Ca= caulinita, Qz= quartzo e Gb= gibbsita.

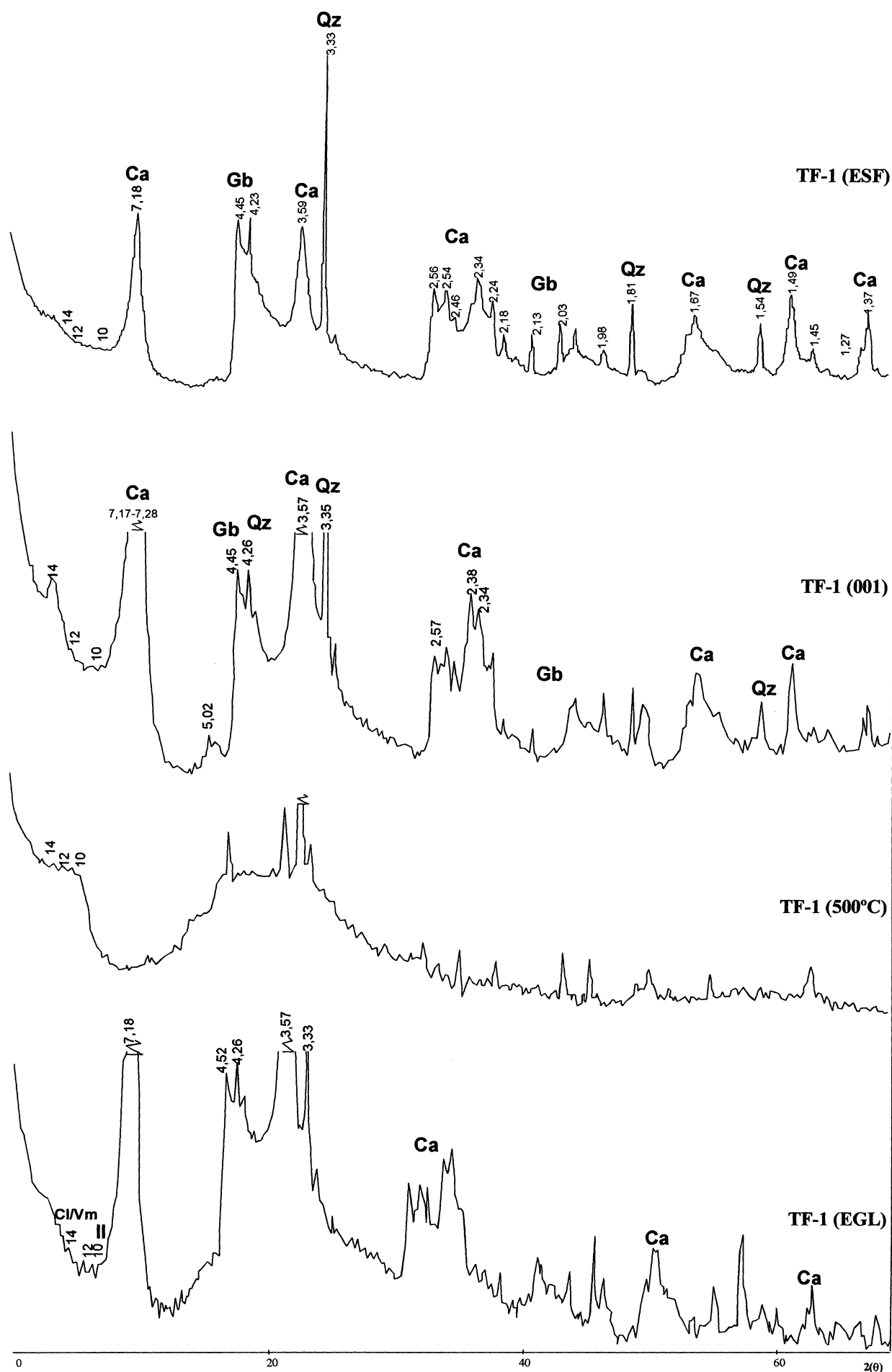


**Figura 4. 21** - Difratomogramas de raios X representativos da seção TD. Fácies A. Amostra total e fração argila. ESF= esfregaço, 001= precipitado. Ca= caulinita, Qz= quartzo e Gb= gibbsita.

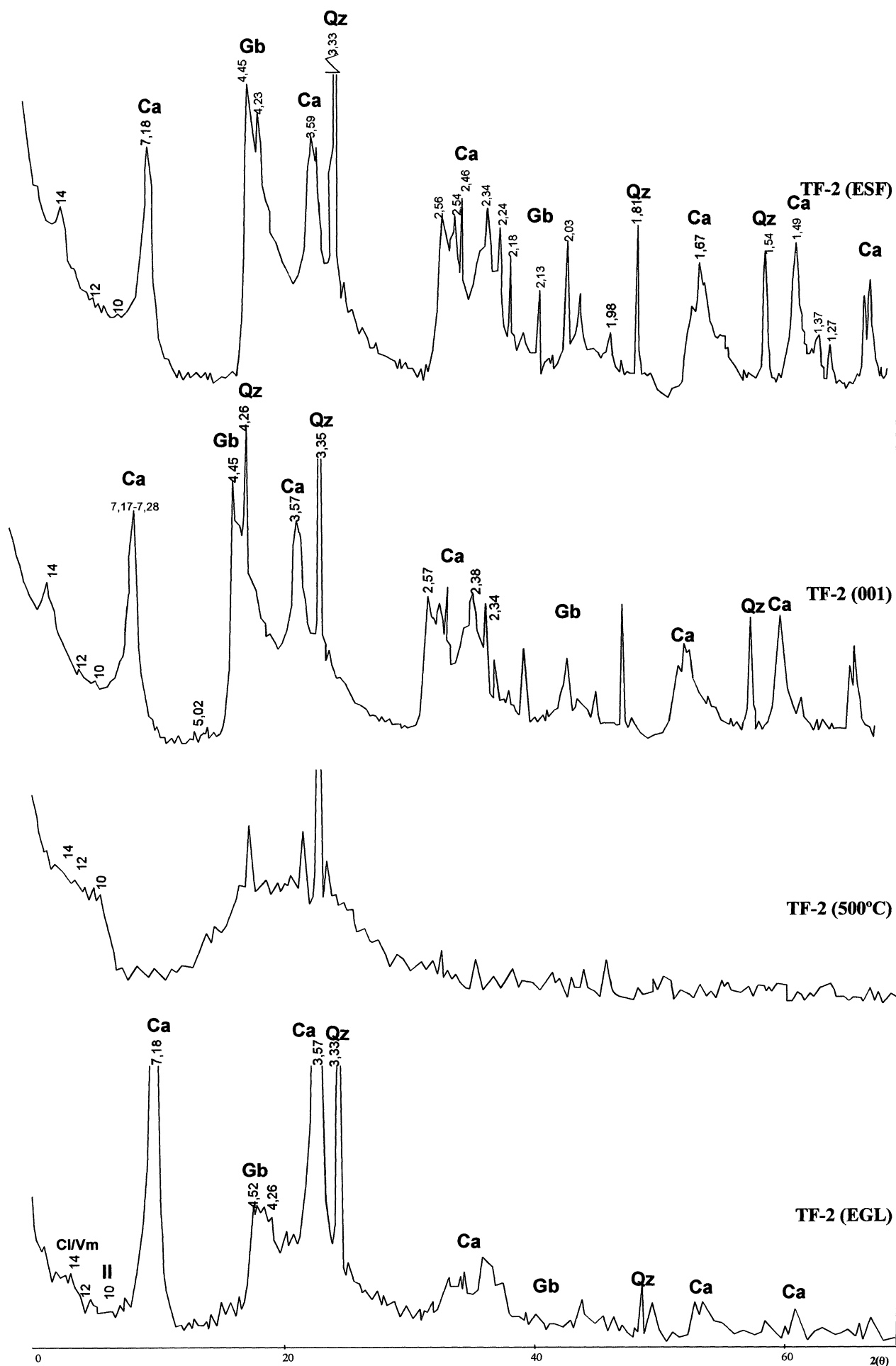




**Figura 4.22** - Difractogramas de raios X representativos da seção TD. Fácies Ao. *Argila azul*. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



**Figura 4.23** - Difractogramas de raios X representativos da seção TF. Fácies ASng. *Argila chocolate*. Amostra total e fração argila. ESF=esfregação, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.



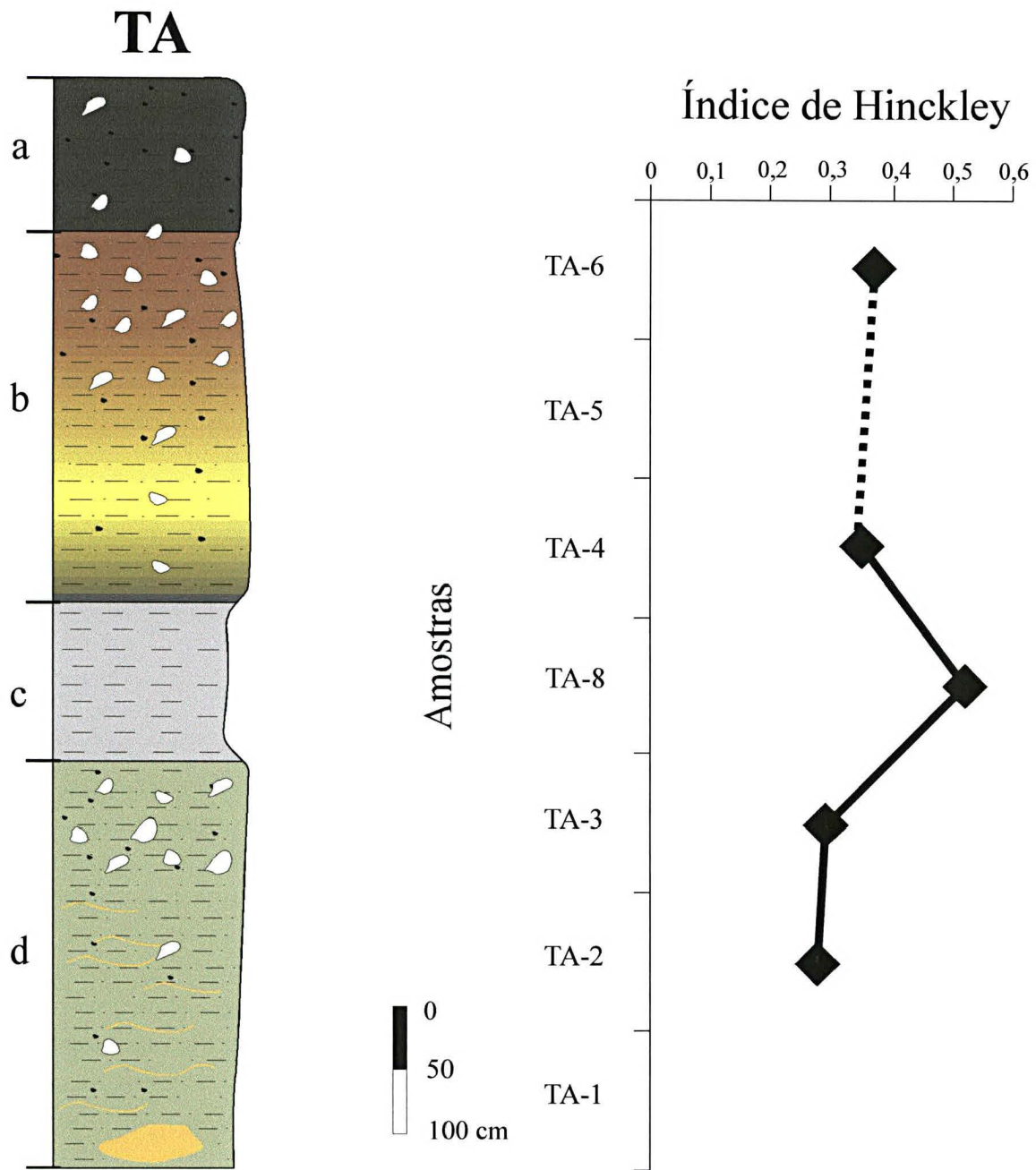
**Figura 4.24** - Difractogramas de raios X representativos da seção TF. Fácies Ao. *Argila azul*. Amostra total e fração argila. ESF=esfregaço, 001= precipitado, 500° C= aquecimento, EGL= saturação com etilenoglicol. Ca=caulinita, Qz= quartzo, Il= ilita, Gb= gibbsita e Cl/Vm= clorita vermiculita.

### 4.3.2 - Cristalinidade da caulinita segundo índice de Hinckley ( $IC_H$ )

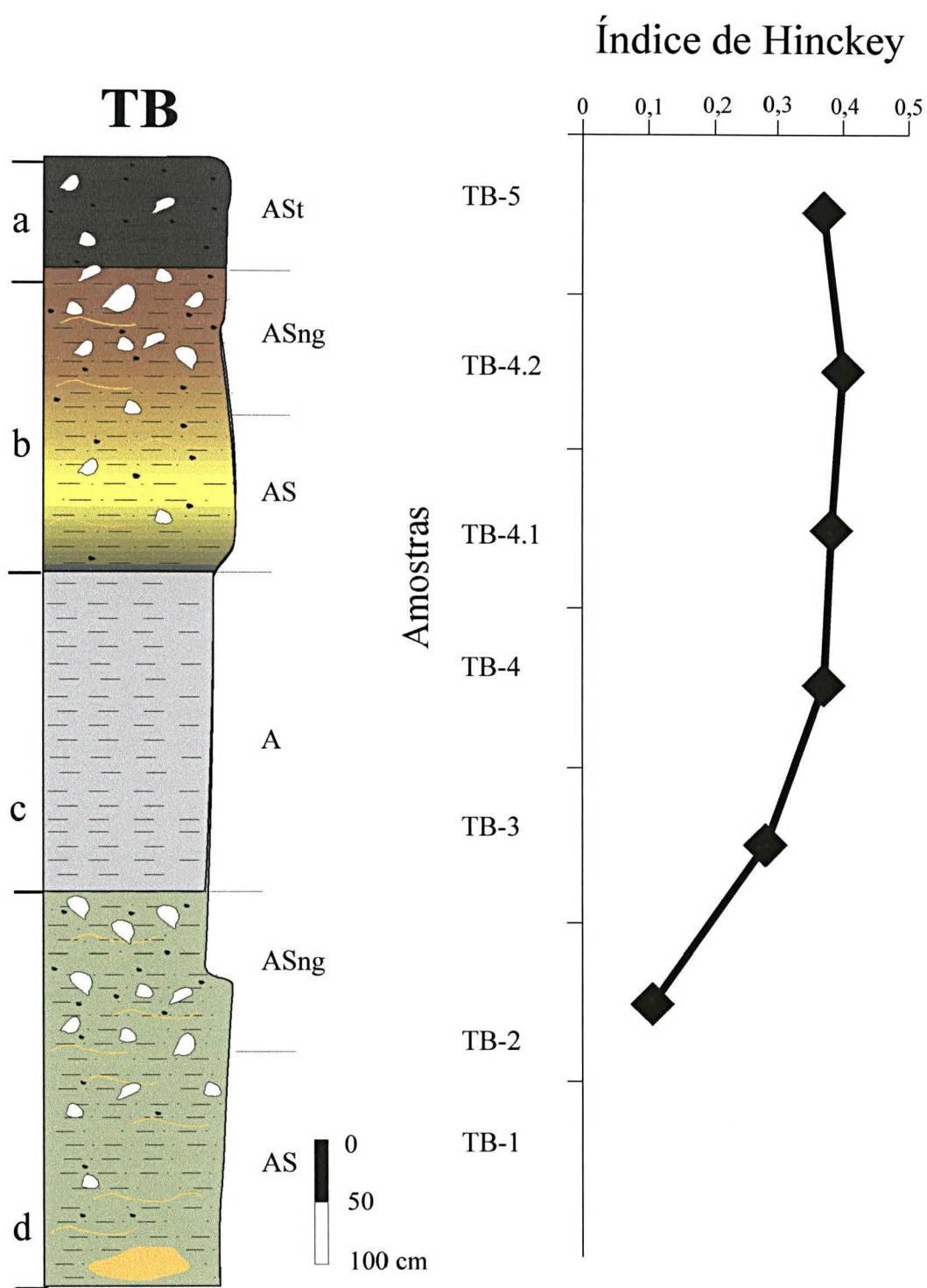
O grau de ordenamento dos folhetos de caulinita foi determinado através do cálculo do índice de Hinckley, em amostras totais não sedimentadas, representativas das seções. O procedimento utilizado para o cálculo do  $IC_H$  levou em consideração os máximos de difração correspondentes a famílias de planos reticulares de todos os tipos (hkl) (hko) e (oko). O cálculo foi realizado através da obtenção de medidas das reflexões basais da caulinita entre  $19^\circ$  e  $23^\circ$  e os índices foram obtidos segundo método de Hinckley 1963 *apud* Gomes 1986. A partir deste cálculo, foram obtidos valores entre 0,2 e 0,5, sugerindo média a fraca cristalinidade para a caulinita. De acordo com os princípios que embasam o método de Hinckley, baixa cristalinidade da caulinita pode indicar defeitos pontuais intrínsecos ao próprio cristal, defeitos relativos à sobreposição das camadas e/ou aos espaços intercamadas. Apesar do predomínio de cristais de fraca cristalinidade, nos horizontes argilosos, este parâmetro mostra picos agudos representativos da maior cristalinidade da caulinita (figuras 4.21 a 4.23).

O predomínio da caulinita com desordem no eixo b, constatado através de raios X das mesmas amostras em que foram calculados os índices de Hinckley, permitiu a associação dos defeitos estruturais da caulinita como pertencentes, em grande parte, à alteração intrínseca do cristal da caulinita. Tal característica pode ser explicada pelo baixo grau de diagênese da caulinita no depósito Fazendinha. A fraca ordenação dos cristais é refletida através da presença de impurezas como Ti e Fe, incorporados como elementos químicos traços nos minérios argilosos.

Notar, na seção TC X  $IC_H$ , mostrada na fig. 4.27, que o grau mais alto de cristalinidade da caulinita, nas amostras TC-9 e 10, correspondem à zona mais dessilicificada e mais bauxitizada da seção (vide fig. 4.38). O maior  $IC_H$ , da TC-11, corresponde a uma das zonas mais silicificadas do perfil de sílica (Fig. 4.38). A lixiviação da sílica das caulinitas, portanto, afeta a estrutura cristalina desses minerais, diminuindo suas cristalinidades.

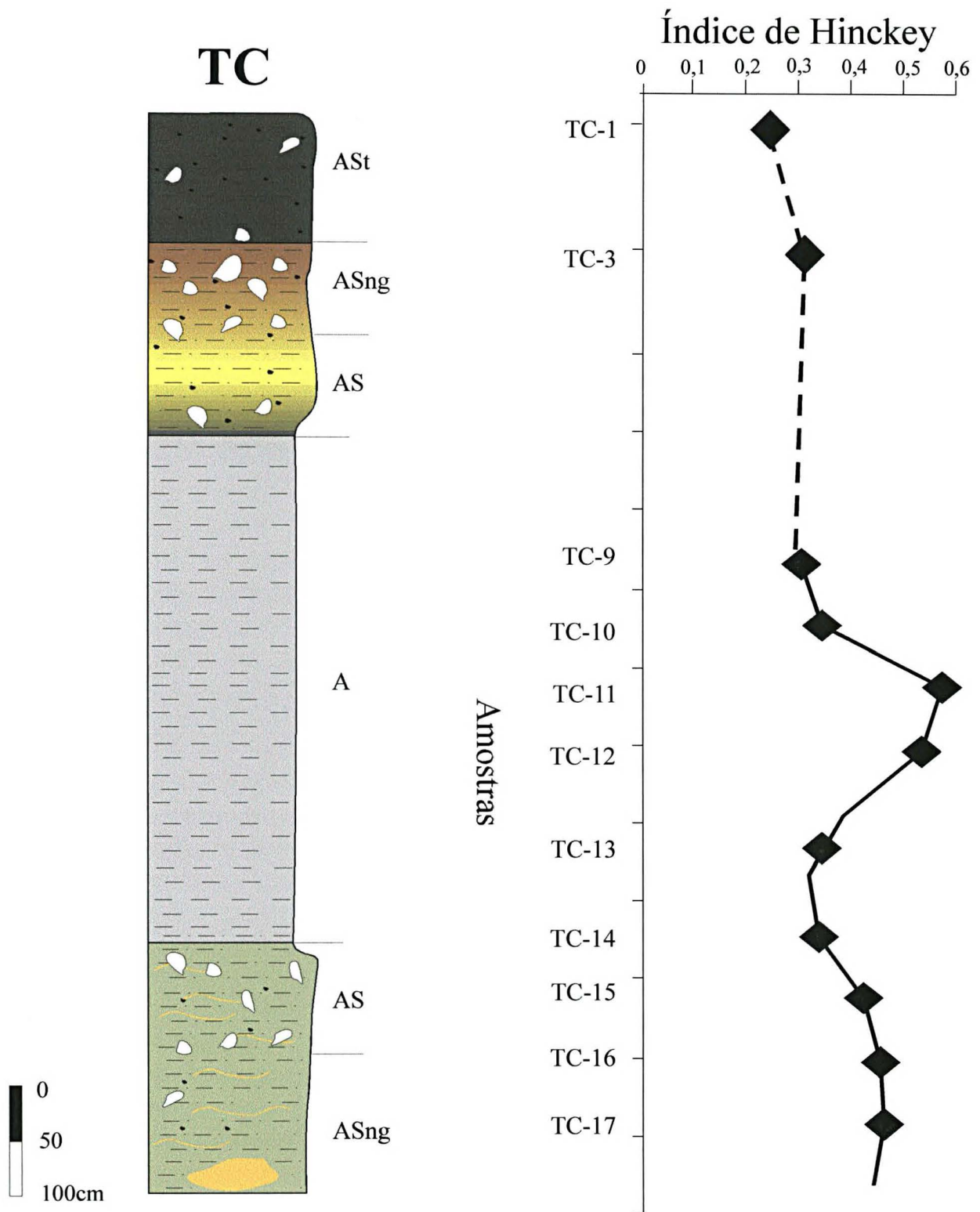


**Figura 4.25** - Seção colunar TA com representação gráfica do Índice de Hinckley.



**Figura 4.26** - Seção colunar TB com representação gráfica do Índice de Hinckley.





**Figura 4.27** - Seção colunar TC com representação gráfica do Índice de Hinckley.

### 4.3.3 - Mineralogia das argilas da Mina Fazendinha

A partir dos resultados mineralógicos e químicos obtidos, foram calculadas as composições mineralógicas normativas das amostras representativas das principais fácies argilosas da Bacia de Tijucas do Sul na Mina Fazendinha (Tabela 4.2).

SEÇÕES	PROFUNDIDADE (m)	FÁCIES	AMOSTRAS	QUARTZO (%)	CAULINITA (%)	ILITA (%)
TA	6,5	AS	TA-1	29	48	0,8
	5,0	ASng	TA-2	15	62	0,7
	4,5	ASng	TA-3	10	70	2
	3,0	AS	TA-4	4	79	2
	2,5	ASng	TA-5	9	65	0,6
	1,5	ASng	TA-6	10	68	4
	3,8	A	TA-8	9	66	6
TB	7,0	AS	TB-1	20	50	1
	5,3	ASng	TB-2	16	62	2
TC	0,5	ASt	TC- 1	21	45	2
	0,8	ASt	TC-2	37	37	1
	1,0	ASt	TC-3	40	40	0,7
	1,5	ASng	TC-4	9	66	1
	2,0	ASng	TC-5	29	56	1
	2,5	AS	TC-6	13	67	0,8
	3,3	A	TC-7	25	58	1
	3,8	A	TC-8	20	63	0,7
	4,3	A	TC-9	16	66	1
	4,8	A	TC-10	10	72	0,9
	5,3	A	TC-11	39	48	1
	5,8	A	TC-12	37	50	0,9
	6,3	A	TC-13	22	62	1
	6,8	A	TC-14	15	67	1
	7,3	ASng	TC-15	13	70	1
	8,3	ASng	TC-16	52	30	0,5
	8,7	AS	TC-17	11	71	1
TD	3,5	ASng	TD-1	59	32	1
	4,5	A	TD-2	15	70	2
	6,7	Ao	TD-3	18	64	4
TE	3,0	Ao	TE-1	22	47	2
TF	1,8	ASng	TF-1	11	69	2
	3,7	Ao	TF-2	20	57	2

**Tabela 4.2 – Mineralogia normativa calculada para as amostras analisadas quimicamente.**

A avaliação semi-quantitativa foi realizada através de cálculo normativo simples, a partir das fórmulas teóricas da caulinita e da illita.

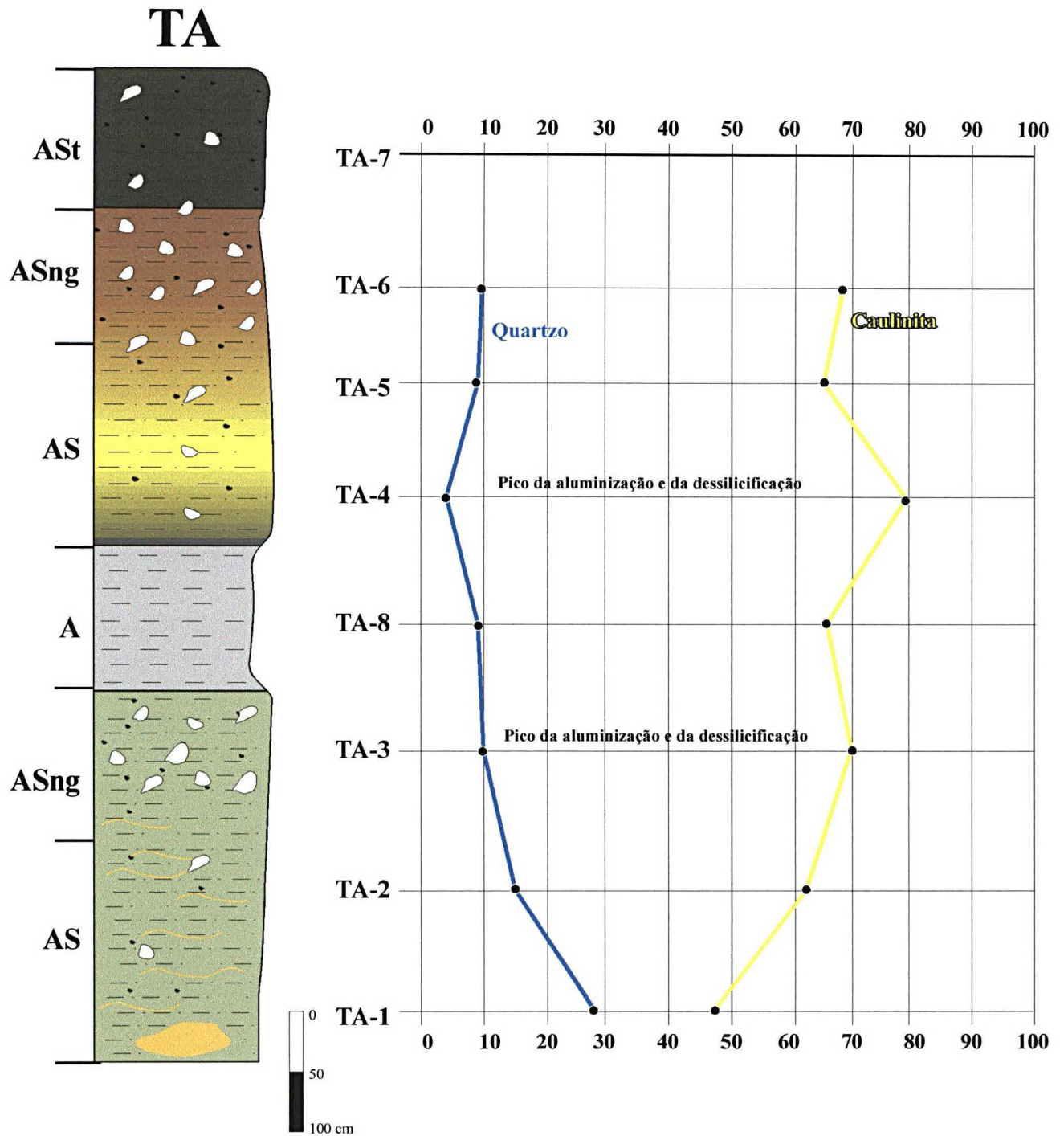
A caulinita é o mineral predominante das fácies (teor médio de 70%, uniformemente distribuídos). Secundariamente vem o quartzo (teor médio de 49%) e a illita com teor máximo de 6%. A illita apresenta teores mais significativos na fácies argila da seção TA e TD.

A caulinita é quase sempre acompanhada de pequenas quantidades em gibbsita identificadas através da difração de raios X e caracterizadas em campo como nódulos.

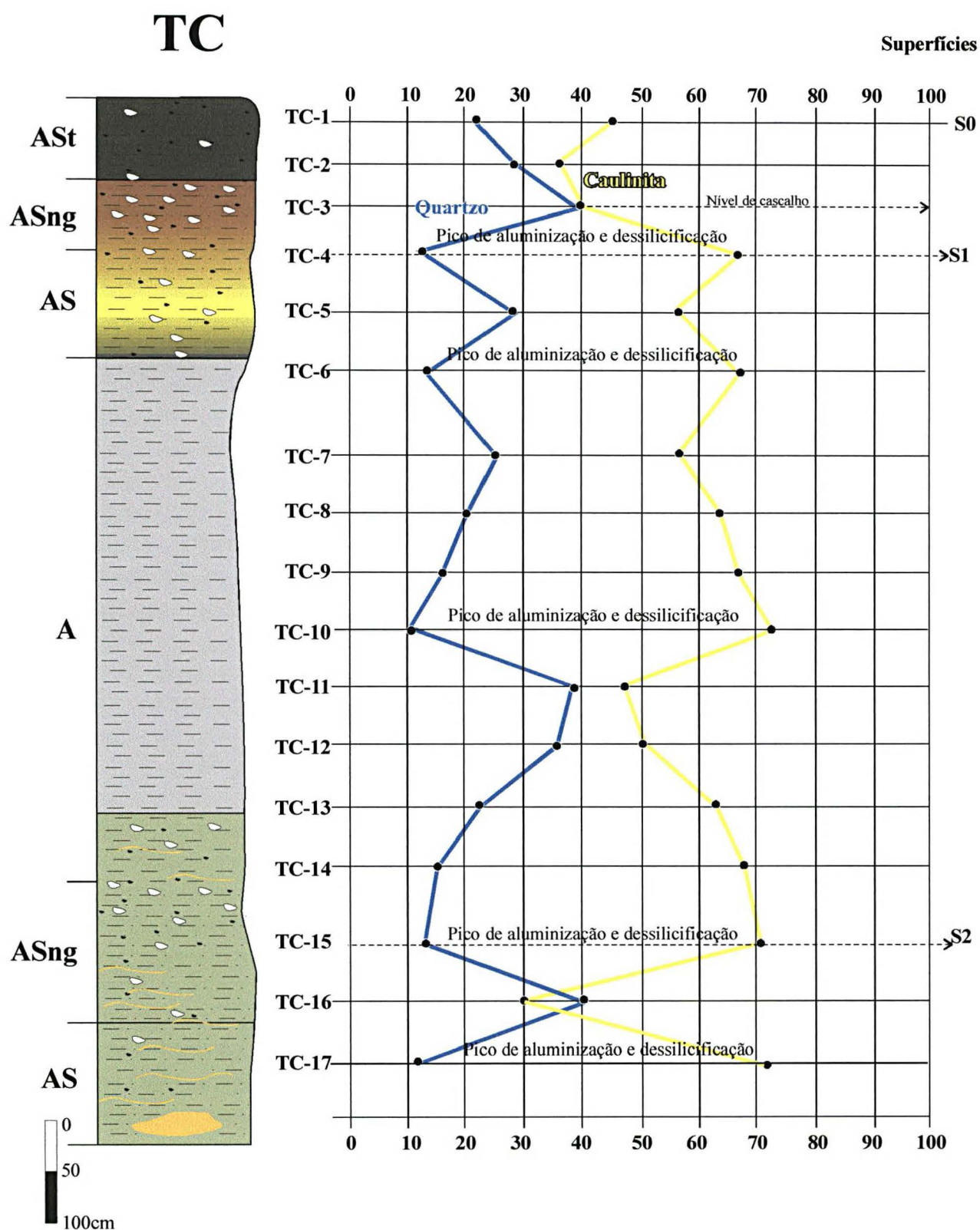
A uniformidade da distribuição mineralógica ao longo das seções é caracterizada por nítido predomínio das caulinitas sobre os demais argilominerais. O quartzo concentra-se em grânulos e/ou fração silte. Secundariamente ocorre illita e clorita-vermiculita disseminadas. Cristais de anatásio e ilmenita, conforme identificados em MEV-EDS, explicam os teores variáveis de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  associados a maiores concentrações nos topos das seções e nas paleossuperfícies.

O quartzo e a caulinita apresentam correlação inversa, dando evidências da aluminização e da silicificação nos pontos das paleossuperfícies aonde estes fenômenos são mais intensos (Figura 4.28 e 4.29).

Com a figura 4.29 vê-se nitidamente os picos de elevação da caulinita e de depleção do quartzo que caracterizam as superfícies atuais e antigas, de acordo com a fig. 4.38. Vestígios dos níveis de cascalhos caracterizam pontos de maior concentração em quartzo.



**Figura 4.28** - Distribuição do quartzo e da caulinita na seção TA, com indicação dos picos da aluminização e da dessilicificação. Estes picos pertencem a regiões de paleossuperfícies bem caracterizadas na seção TC.



**Figura 4.29** - Distribuição do quartzo e da caulinita na seção TC com indicação de paleossuperfícies e picos de bauxitização e aluminização. S0 = superfície atual, S1 e S2= paleossuperfícies.

#### 4.3.4 – Relações entre mineralogia e faciologia

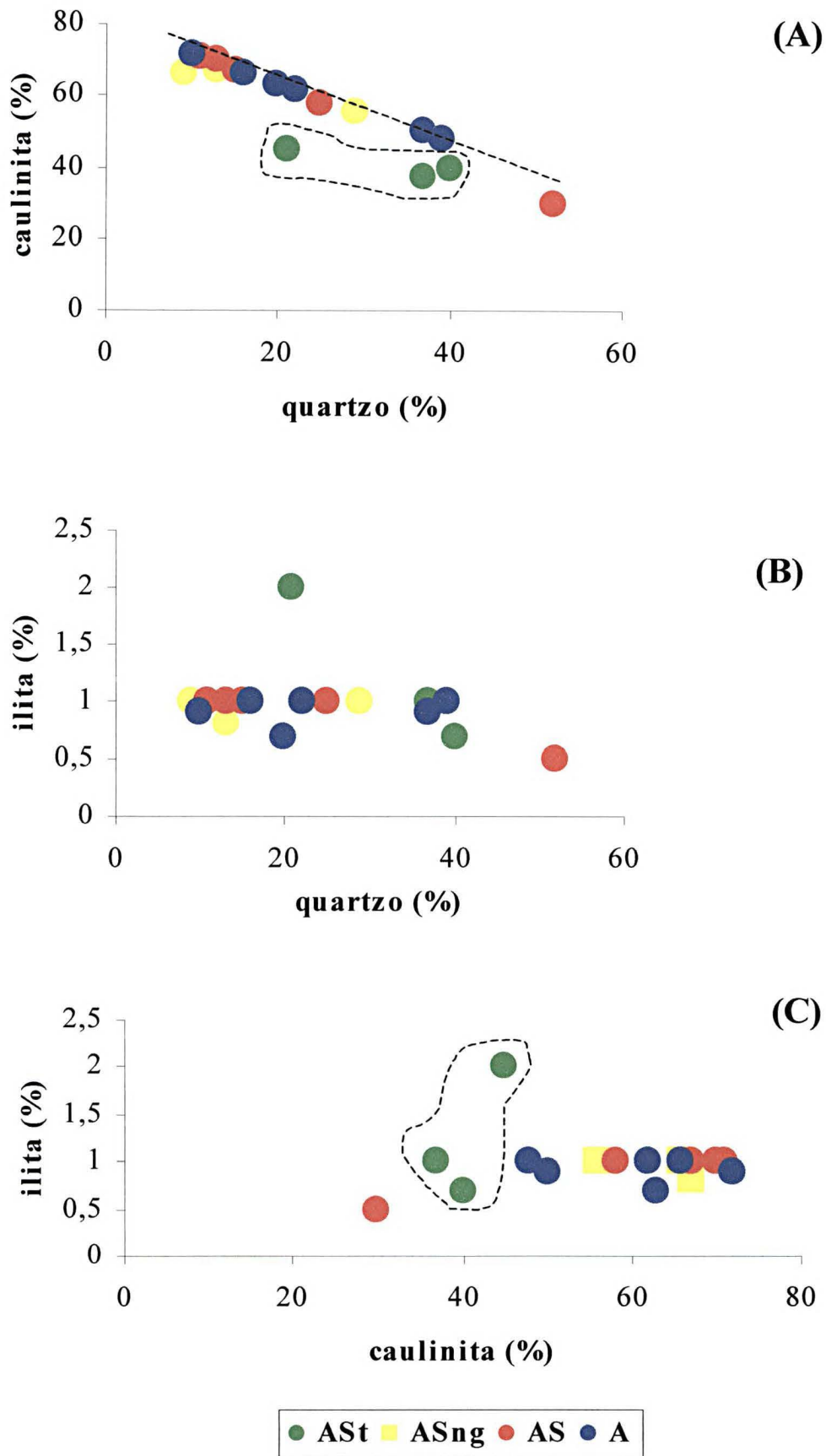
Gráficos binários e ternários foram elaborados para estabelecer tendências mineralógicas e geoquímicas correlacionadas às diferentes fácies. Este tipo de abordagem acrescentou maiores dados à hipótese de influência da faciologia na composição mineralógica e/ou química nas seções.

Na seção TC, as fácies AS, ASng e A agrupam-se em igual percentual em illita (0,5 % a 1%) em regiões com caulinita acima de 50% e quartzo abaixo de 30% (Figura 4.30 A, B e C). Para a fácies ASt nota-se uma tendência de menor concentração em caulinita e quartzo mais ou menos constante a 40%. Neste caso, a caulinita e o quartzo são os componentes mineralógicos determinantes do agrupamento das fácies A + ASng + AS, com tendência de separação da fácies ASt.

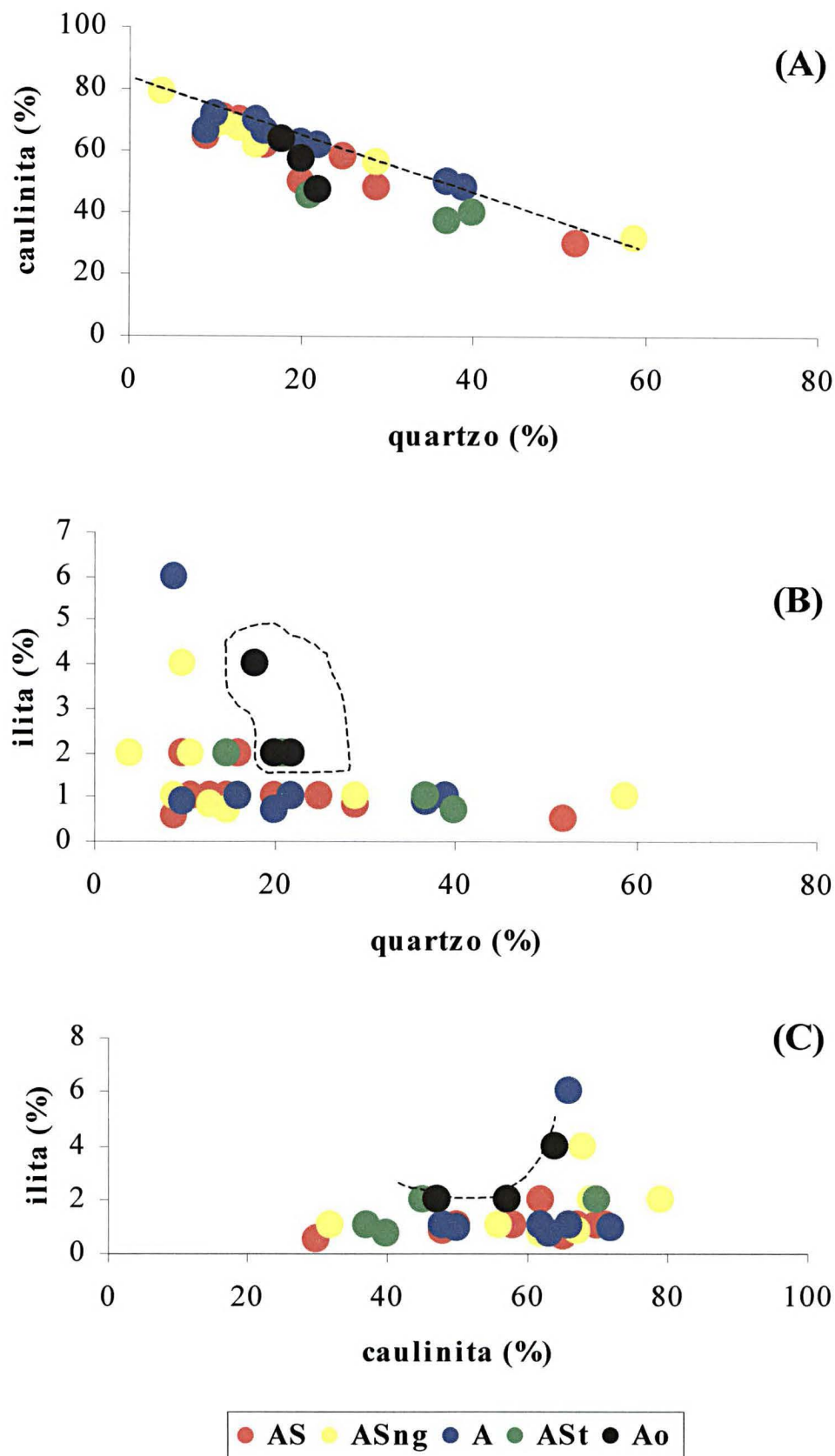
Nos gráficos binários da seção TC e da mineralogia de todas as amostras observa-se uma correlação inversa entre caulinita e quartzo (Figuras 4.30 A e 4.31 A). Permanece a tendência do agrupamento das fácies A, AS, ASng e Ao em níveis de concentração em caulinita acima de 50% e de illita entre 0,5% e 2% com quartzo abaixo de 30%. A fácies ASt tem teores baixos a médios em caulinita (<40%) e quartzo mais ou menos constante a 40%.

No gráfico ternário construído para as seções TA e TC (figura 4.32), ocorre confinamento de amostras no quadrante com teores de caulinita quase sempre acima de 50%.

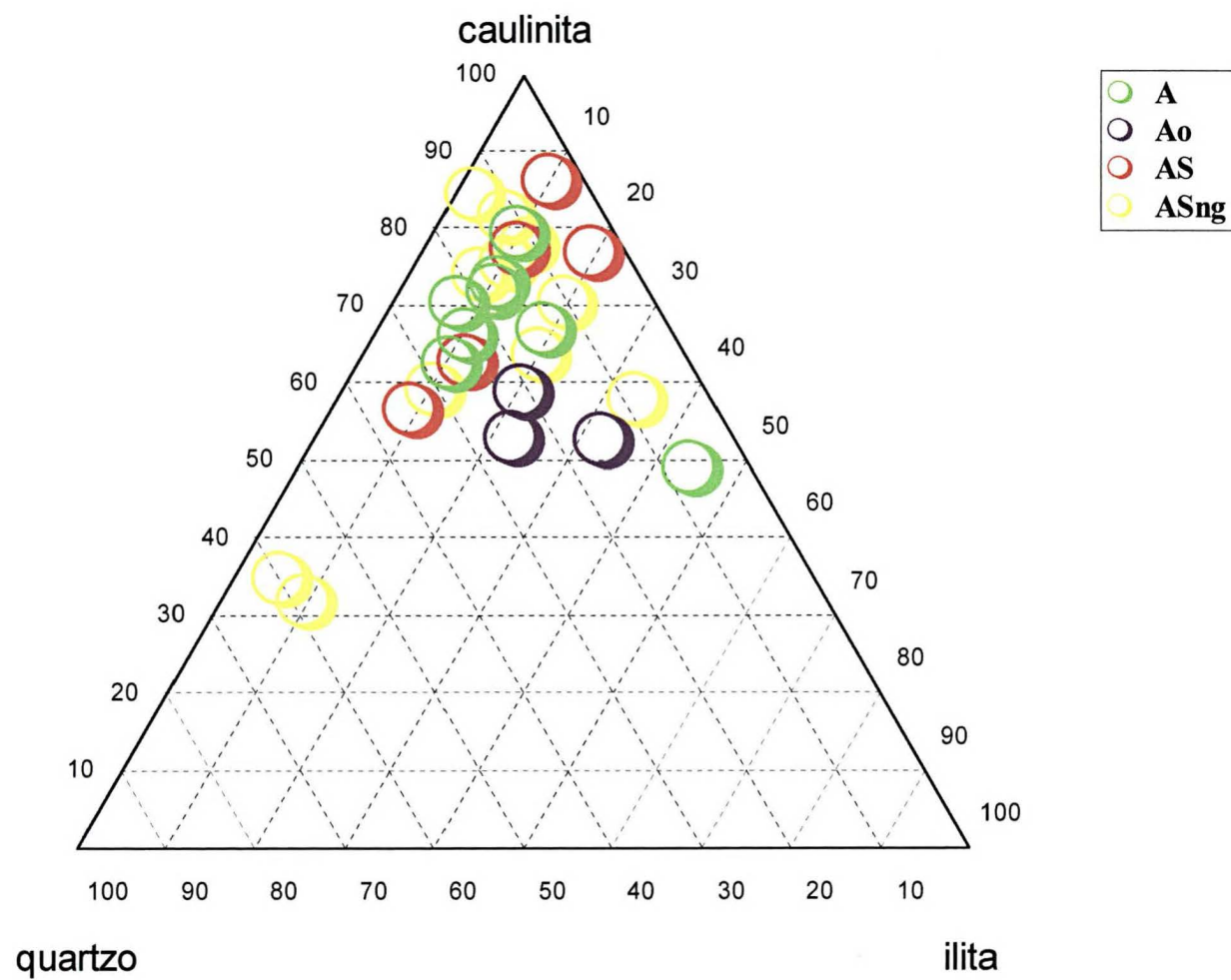




**Figura 4.30** – Gráficos binários dos principais componentes mineralógicos segundo cálculos normativos. Seção TC. ASSt = fácies argila siltosa com turfa ASng = fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos AS = fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos A = fácies argila.



**Figura 4.31** – Gráficos binários dos principais componentes mineralógicos segundo cálculos normativos. Seções TA, TB, TC, TD e TF. AS= fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos ASng = fácies argila siltos rica em nódulos e grânulos A= fácies argila ASt= fácies argila com turfa Ao= fácies argila orgânica



**Figura 4.32** – Gráfico ternário representativo da mineralogia predominante nas seções TA e TC. AS=fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos, ASng= fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulo, A= fácies argila e Ao= fácies argila orgânica

#### **4.3.5 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise química pontual (EDS)**

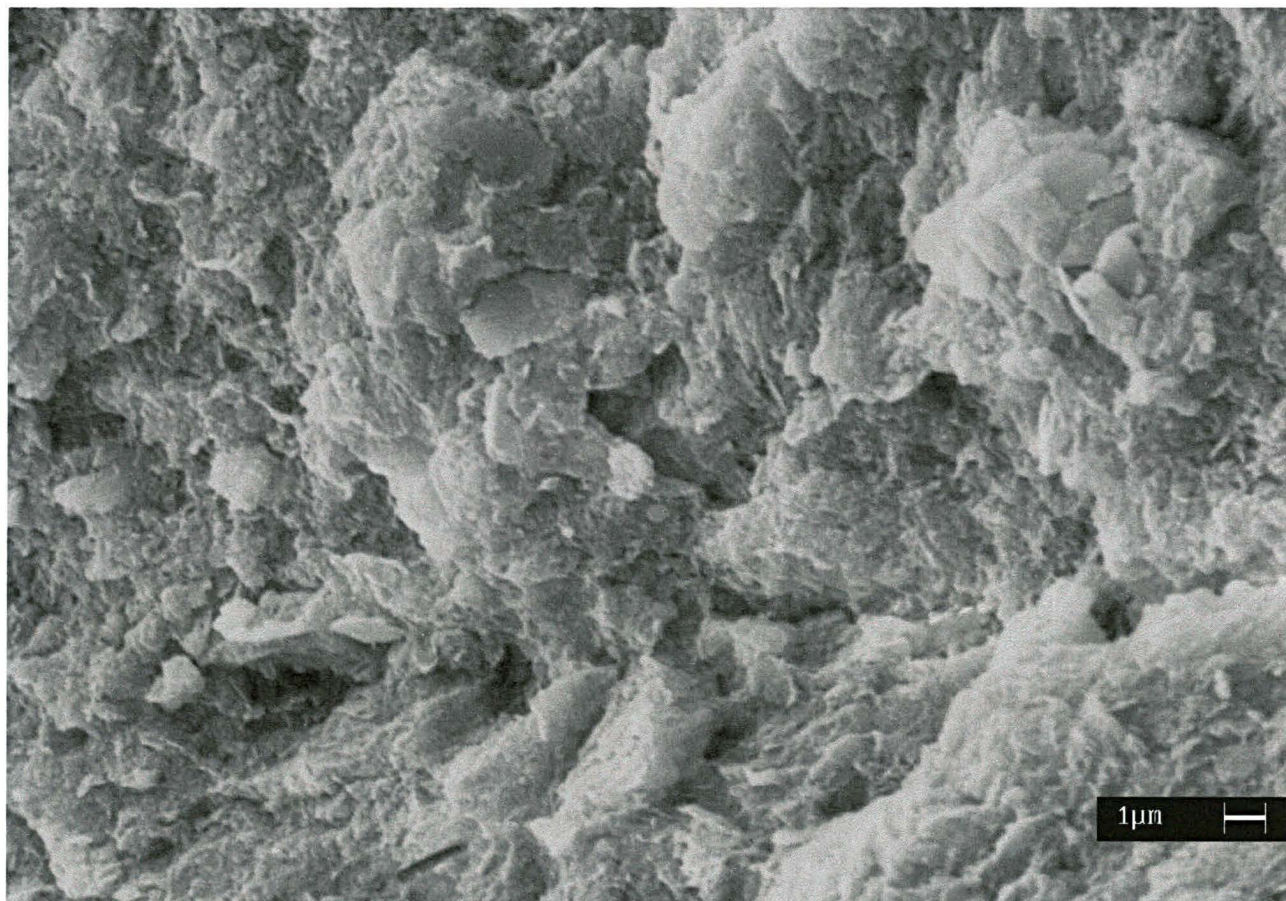
As imagens de MEV contribuíram para identificar os componentes argilomineral das fácies mostrando a morfologia e textura superficial dos grãos. Tal contribuição serviu como base para a classificação genética da caulinita a partir de estudos comparativos com morfologias típicas de caulinita disponíveis na literatura, tais como em Welton (1984) e em O'Brien & Slatt (1990). Assim, as placas anédricas, com bordas irregulares, em tamanhos predominantemente menores que 0,5  $\mu\text{m}$ , indicam caulinita detrítica (imagens 4.1, 4.5 e 4.8 EDS 4.1, 4.2, 4.3, 4.5 a, 4.5 b, 4.5 c e 4.5 d). Estas formas predominam no depósito. Esporadicamente, em amostra da fácies Argila, tenha-se observados arranjos face a face de placas cauliniticas definindo estruturas “em acordeon”, conforme Shole 1979 (imagem 4.9).

Na fácies Argila, a caulinita ostenta formas mais definidas e maiores (tamanhos acima de 5 $\mu\text{m}$  observados na imagem 4.10). As micas apresentam-se bem cristalizadas e agrupam-se umas sobre as outras freqüentemente ostentando nítido deslocamento das bordas (imagens 4.4, 4.5, e 4.6).

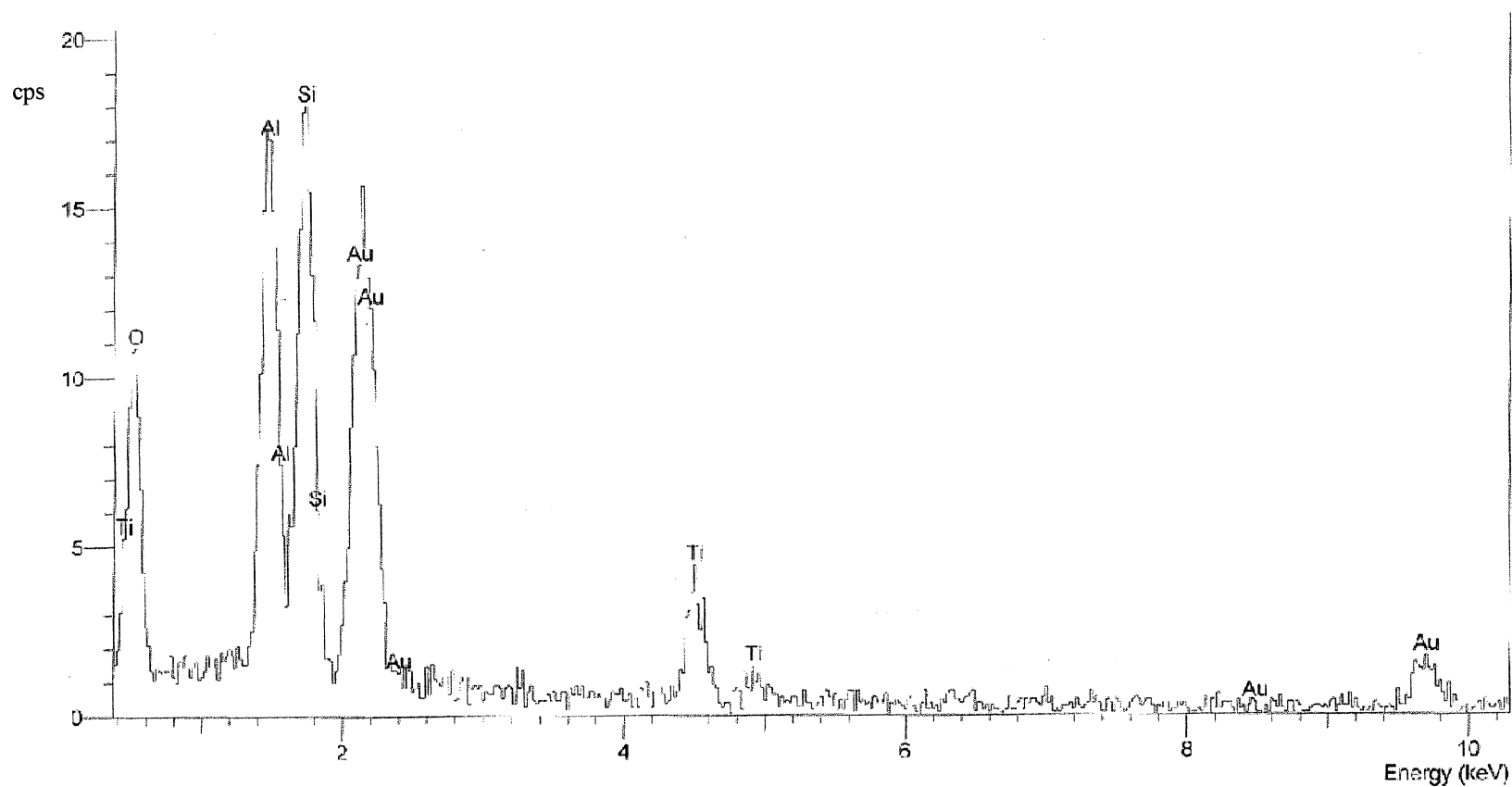
O quartzo ocorre como grânulos ou como fração silte. Apresenta aspectos detríticos com feições de crescimento/dissolução em geometria típica do sistema trigonal, conforme observados nas imagens 4.2, 4.3 e 4.6.

Ao EDS (imagem 4.1), confirmou-se a composição dos grânulos (quartzo e feldspato), conforme já previamente identificados aos raios X. À esta fácies associam-se cristais euédricos, de hábito losangular, com tamanhos inferiores a 0,2  $\mu\text{m}$ , de cor mais clara ao detector de elétrons retroespalhados, indicativos de uma fase mineralógica diferente (imagem 4.7). Esses cristais euédricos foram analisados qualitativamente (EDS), detectando-se os elementos Si, Al, O, Fe e Ti. O titânio apresenta-se com picos nítidos e agudos (EDS 4.4). Estes cristais foram interpretados como sendo de anatásio autígeno.

Não foram observadas estruturas tubulares que indicariam a presença de haloysita.



**Imagem 4.1** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 10.000 X). Aspecto geral da fácies argila siltosa (AS) , contendo grãos imersos na matriz. Notar predomínio de placas irregulares de caulinita, em forma de agregados. Amostra TA-01

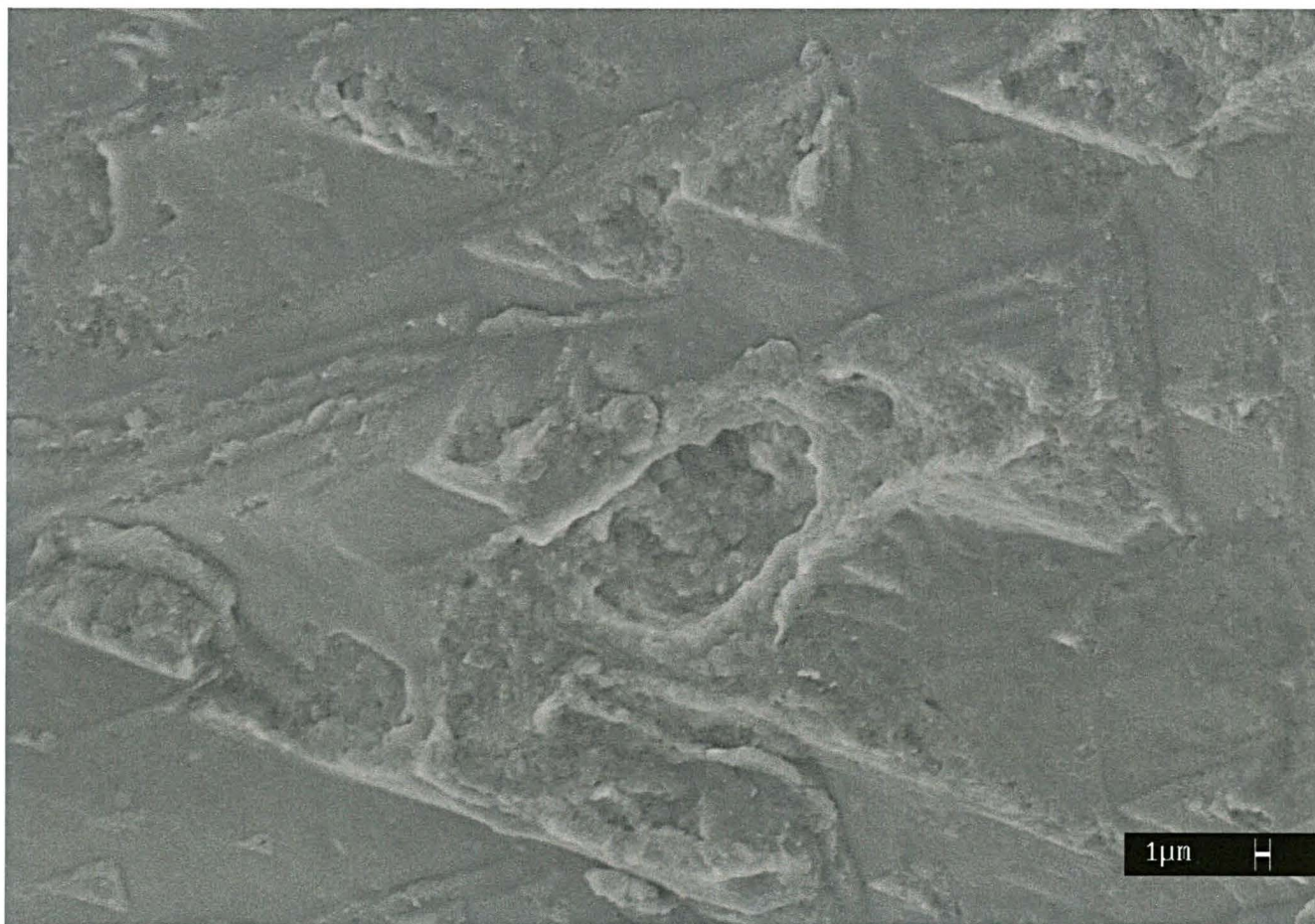


**EDS 4.1** – Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-01, referente à imagem 4.1. Si, Al e O, sem presença de K, Fe e Mg, confirmam presença de caulinita. O Ti é sugestivo de presença de óxidos ou de ilmenita. Os picos em Au são decorrentes do preparo da amostra (recobrimento com película de Au).



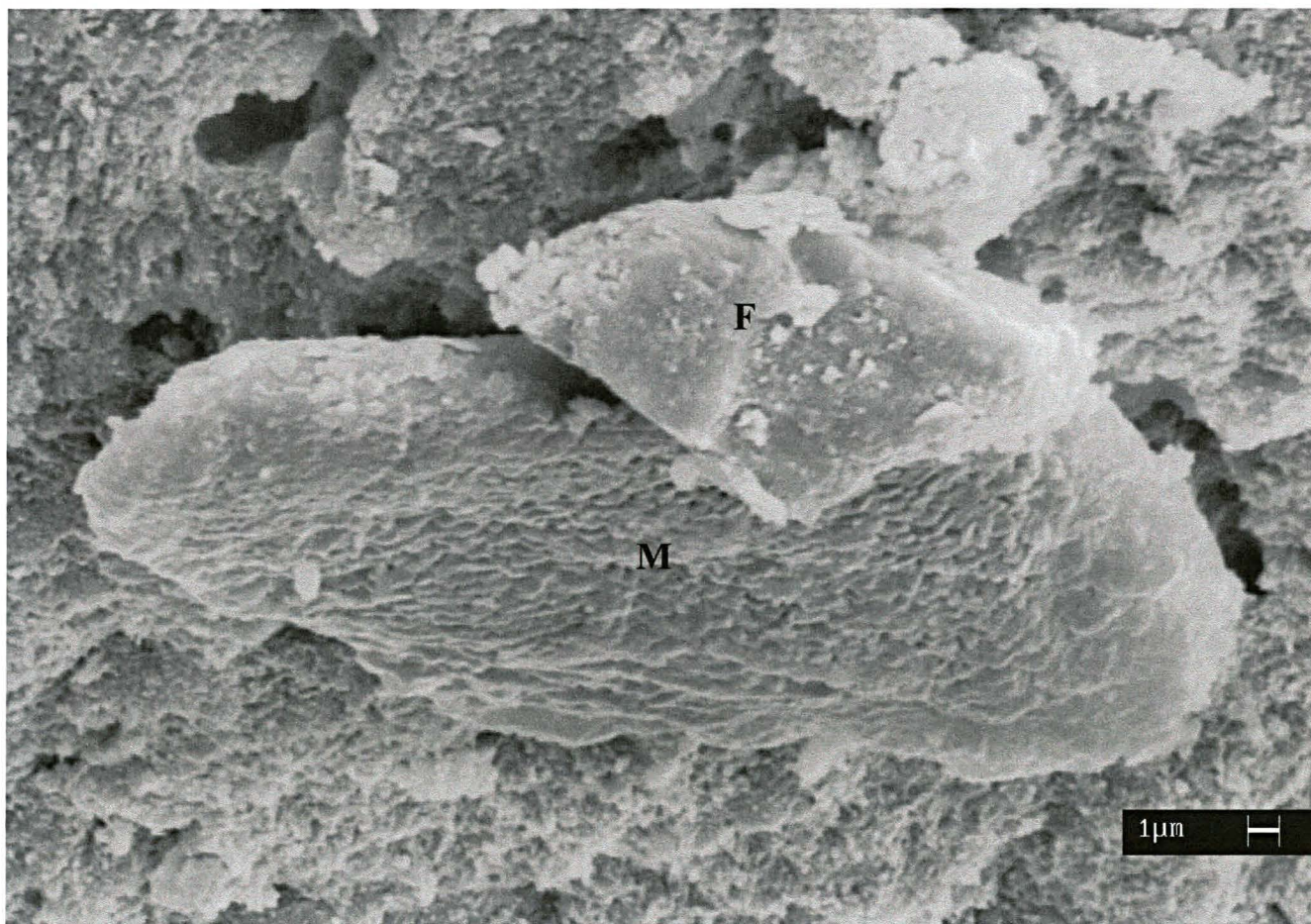


**Imagem 4.2** – MEV ( sinal de elétrons secundários – aumento 1600 X). Quartzo detrítico com figuras de crescimento/dissolução em geometria típica do sistema trigonal e agregados de argilominerais com aspecto maciço. Amostra TA-01



**Imagem 4.3** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 3700 X). Detalhe da imagem anterior, destacando figuras triangulares de dissolução/crescimento na superfície de grão de quartzo. Amostra TA-01



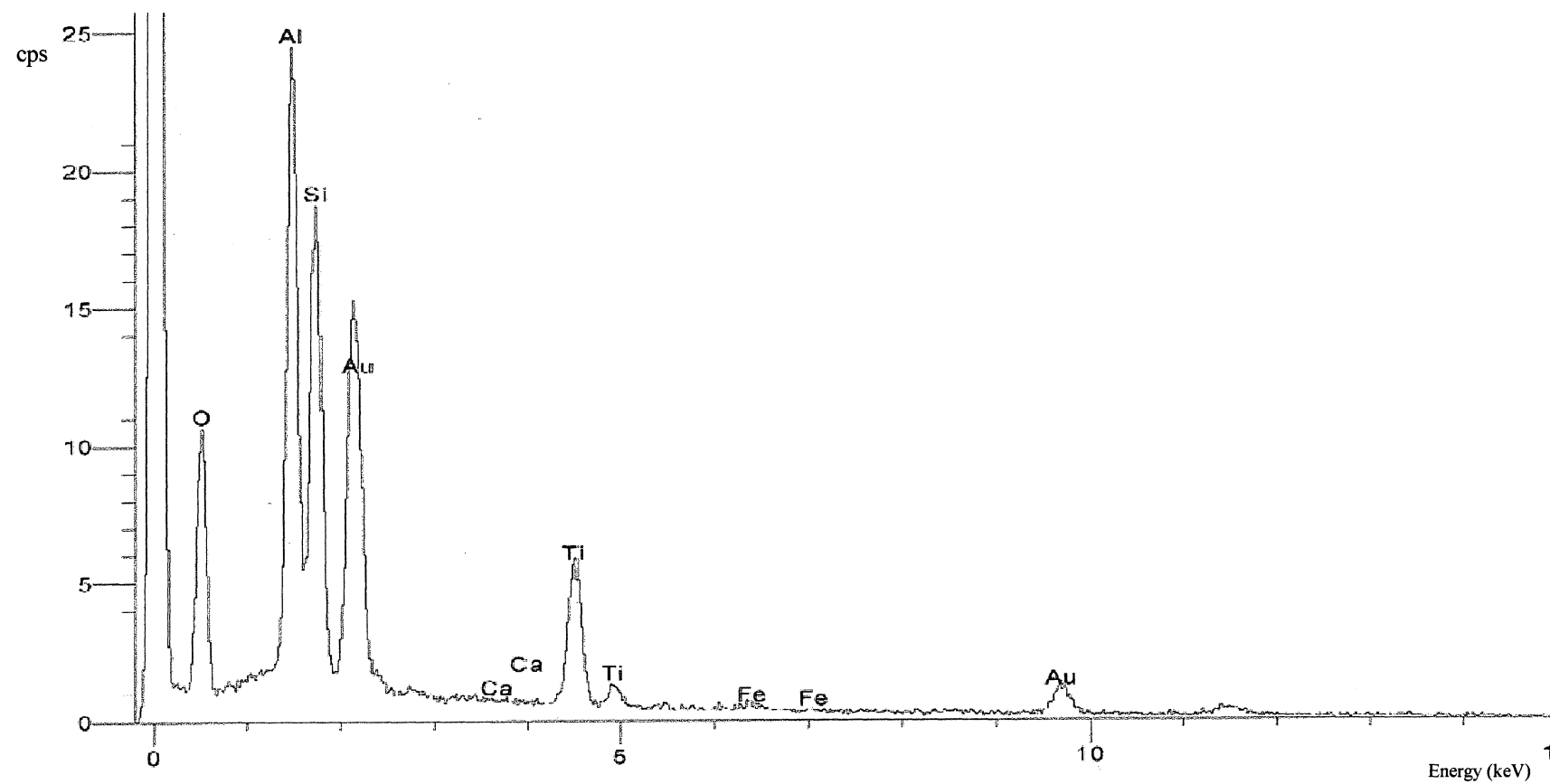


**Imagem 4.4** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 7700 X). Detalhe de clasto de mica, com feições de deslocamento das bordas. F=feldspato M=mica. Amostra TA-01

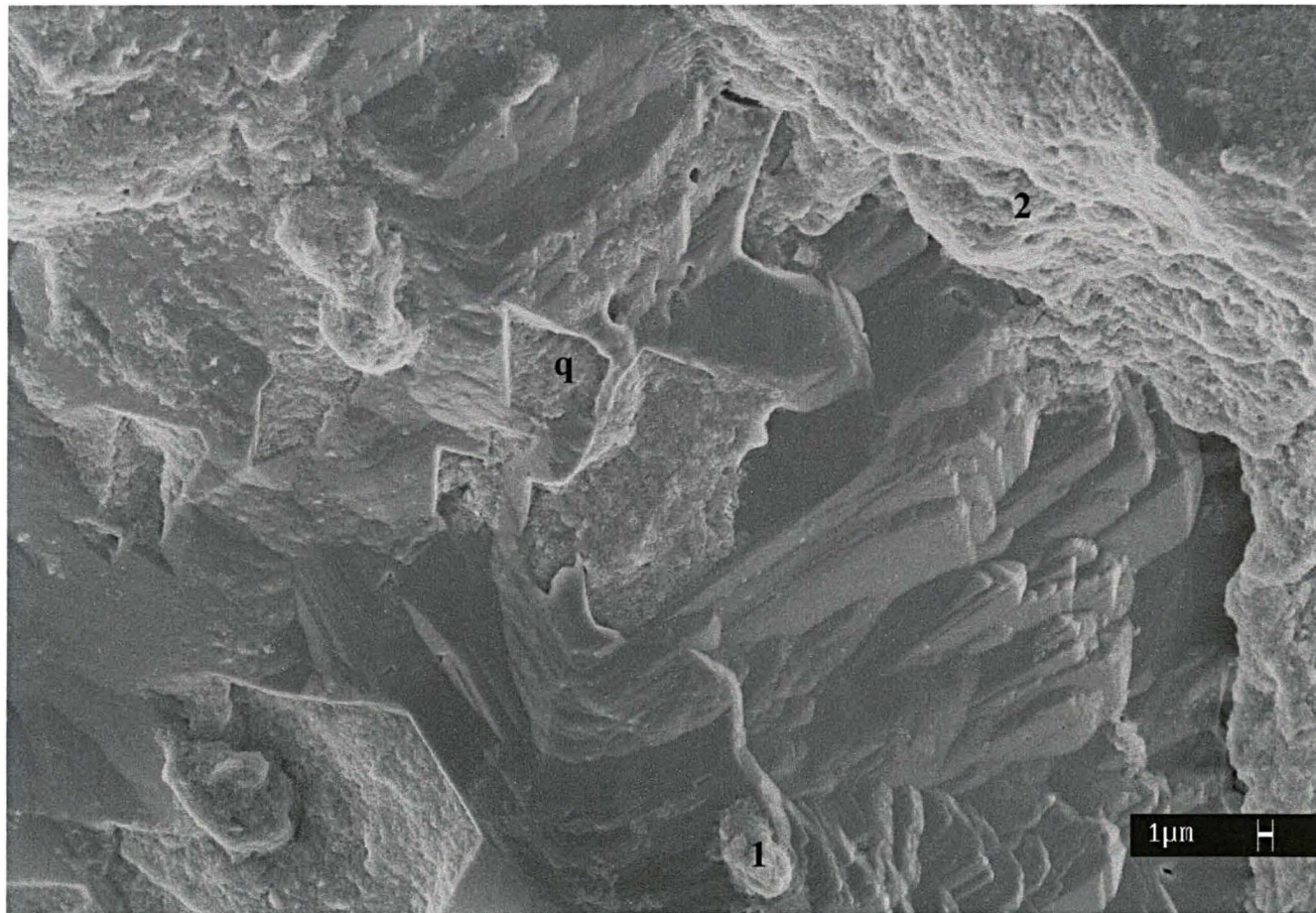


**Imagem 4.5** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 6650 X). Aspecto geral da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng). Morfologia da cristalização e os resultados da análise química pontual indicam presença de quartzo, mica e caulinita. No ponto analisado por EDS detectou-se presença de Si, Al, O, Ti, Ca e Fe. Amostra TA-02



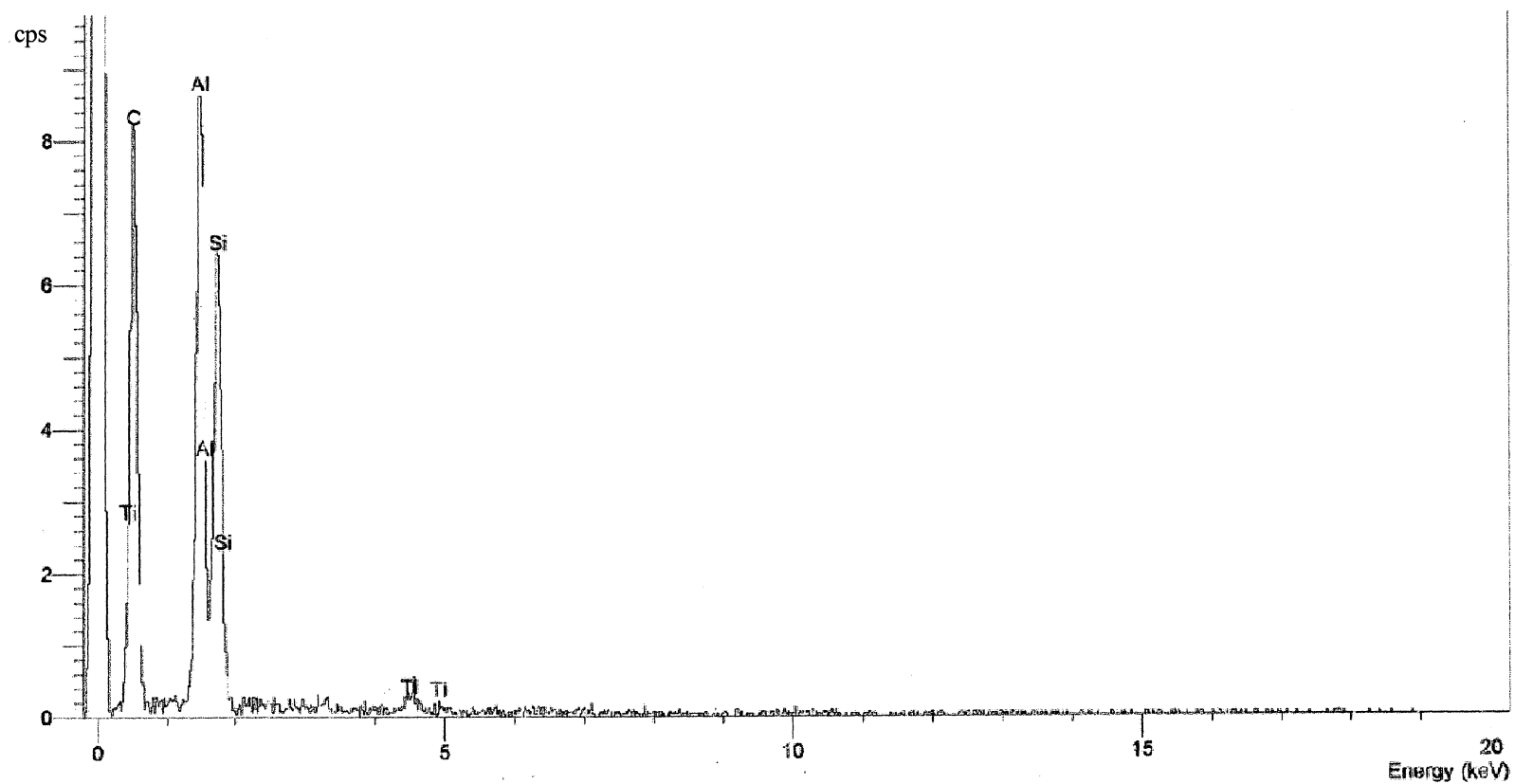


**EDS 4.2** – Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-02, referente à imagem 4.5. Si, Al, O e Ti confirmam presença de caulinita associada a óxidos de titânio. Mg e Fe sugerem possível ocorrência subordinada de clorita, conforme também já caracterizada através das análises de raios X.

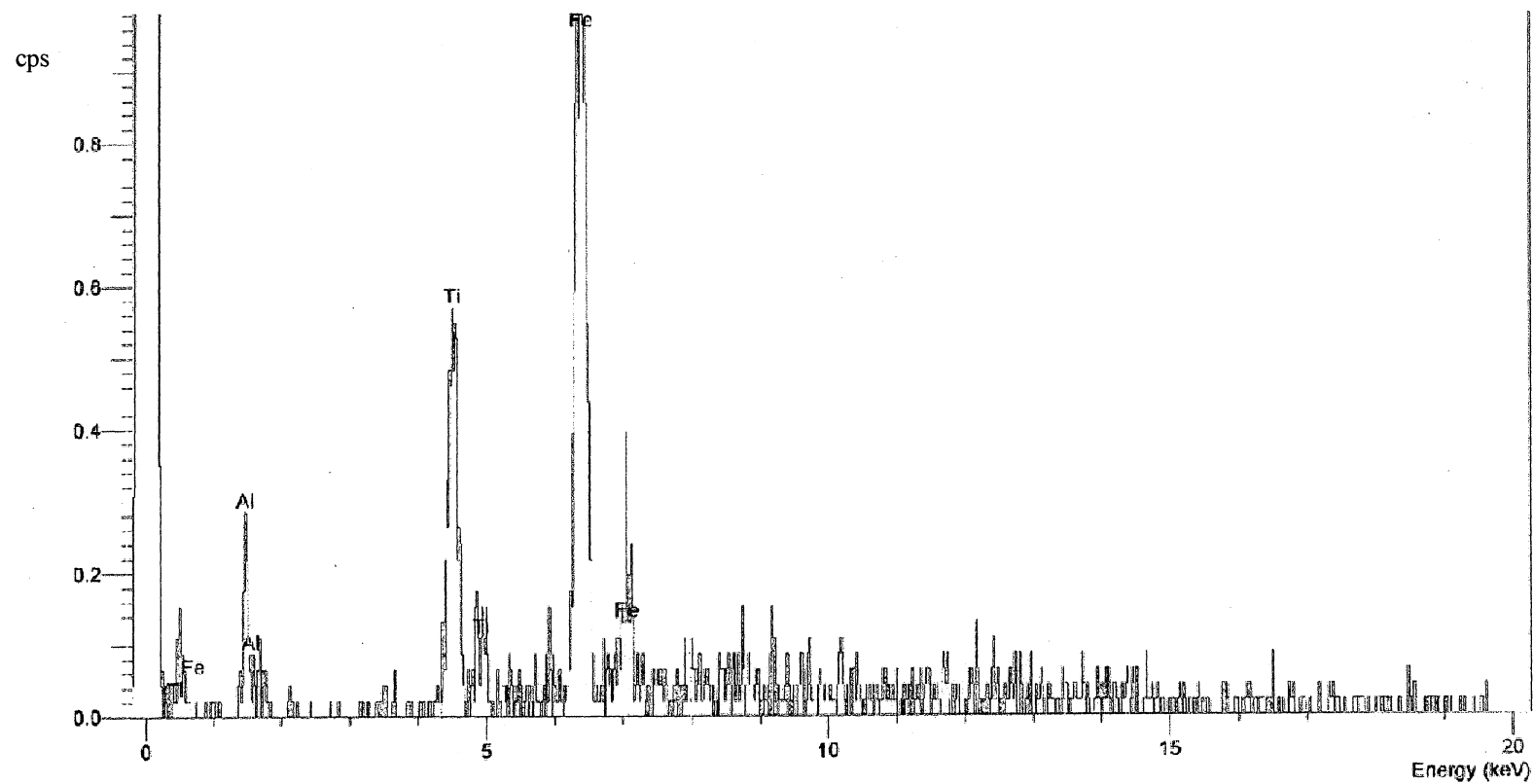


**Imagem 4.6** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 3400 X). Fácies argila siltosa, contendo grãos de quartzo. Caulinita finamente cristalizada. A análise química pontual (pontos 1 e 2) atestou presença de Si, Al, O, Ti e Fe. q=quartzo Amostra TA-03





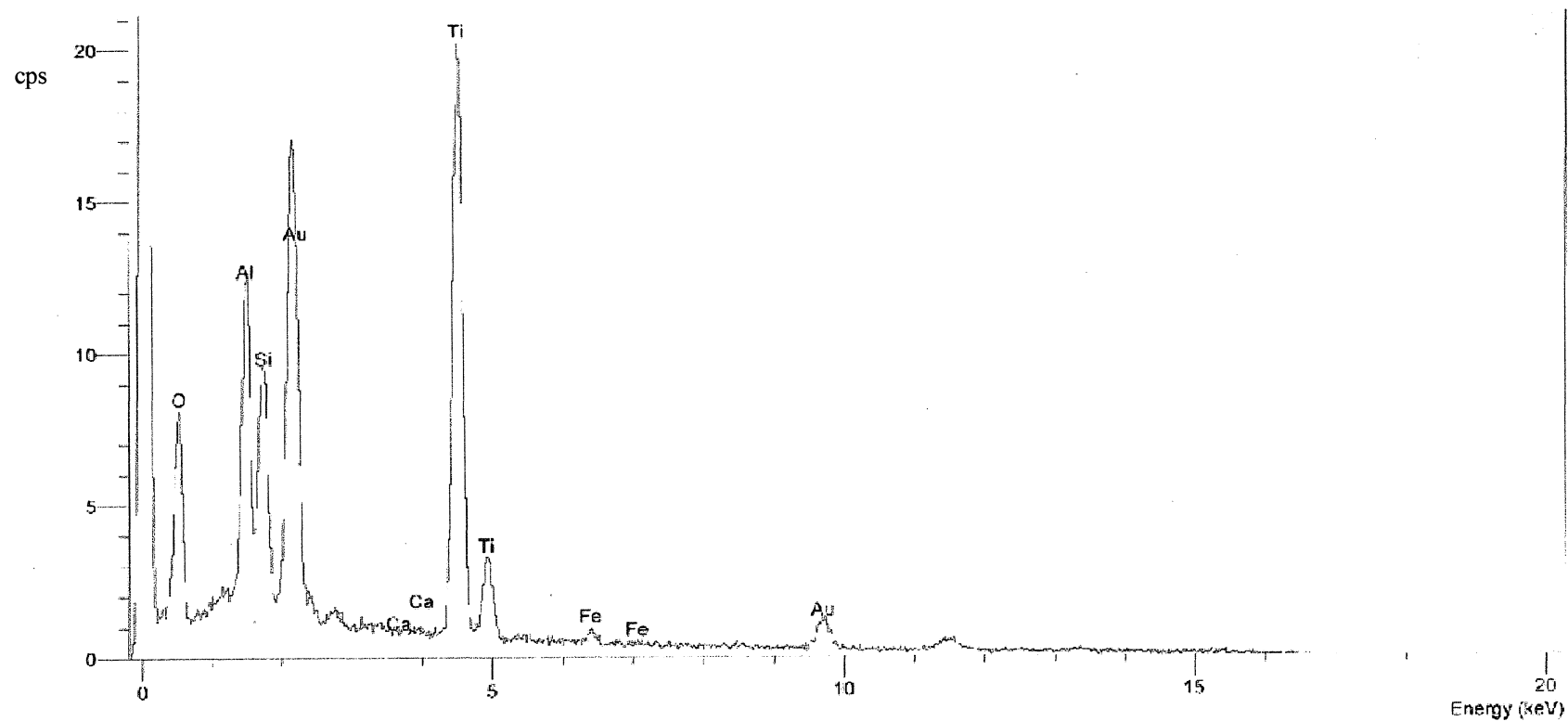
**EDS 4.3 (1)** – Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-03, referente à imagem 4.6. A constatação da presença do Si, Al, O e Ti indica presença de caulinita associada a óxidos de titânio.



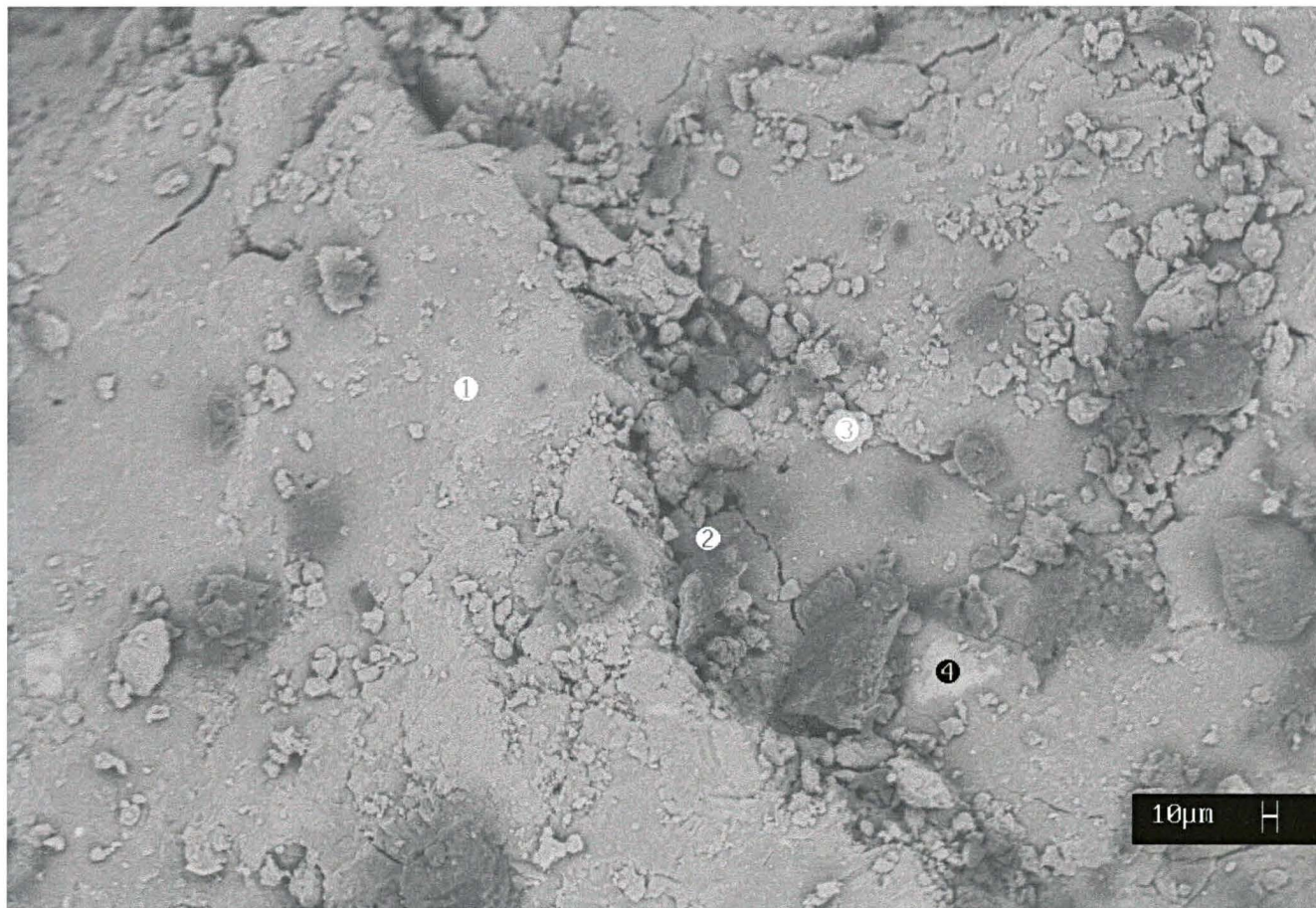
**EDS 4.3 (2)** – Microanálise química qualitativa pontual da amostra TA-03, referente à imagem 4.6. Presença de Ti e Fe é indicativa de presença de ilmenita



**Imagem 4.7** – MEV (sinal de elétrons retroespalhados – aumento de 30000 X). Aspectos de detalhe da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng), com presença de cristais euédrico losangulares de anatásio. A análise química pontual (EDS) confirma a associação de picos característicos da caulinita (Si, Al). Os picos intensos de Ti e O são atribuídos à presença da anatásio. a=anatásio Amostra TA-04

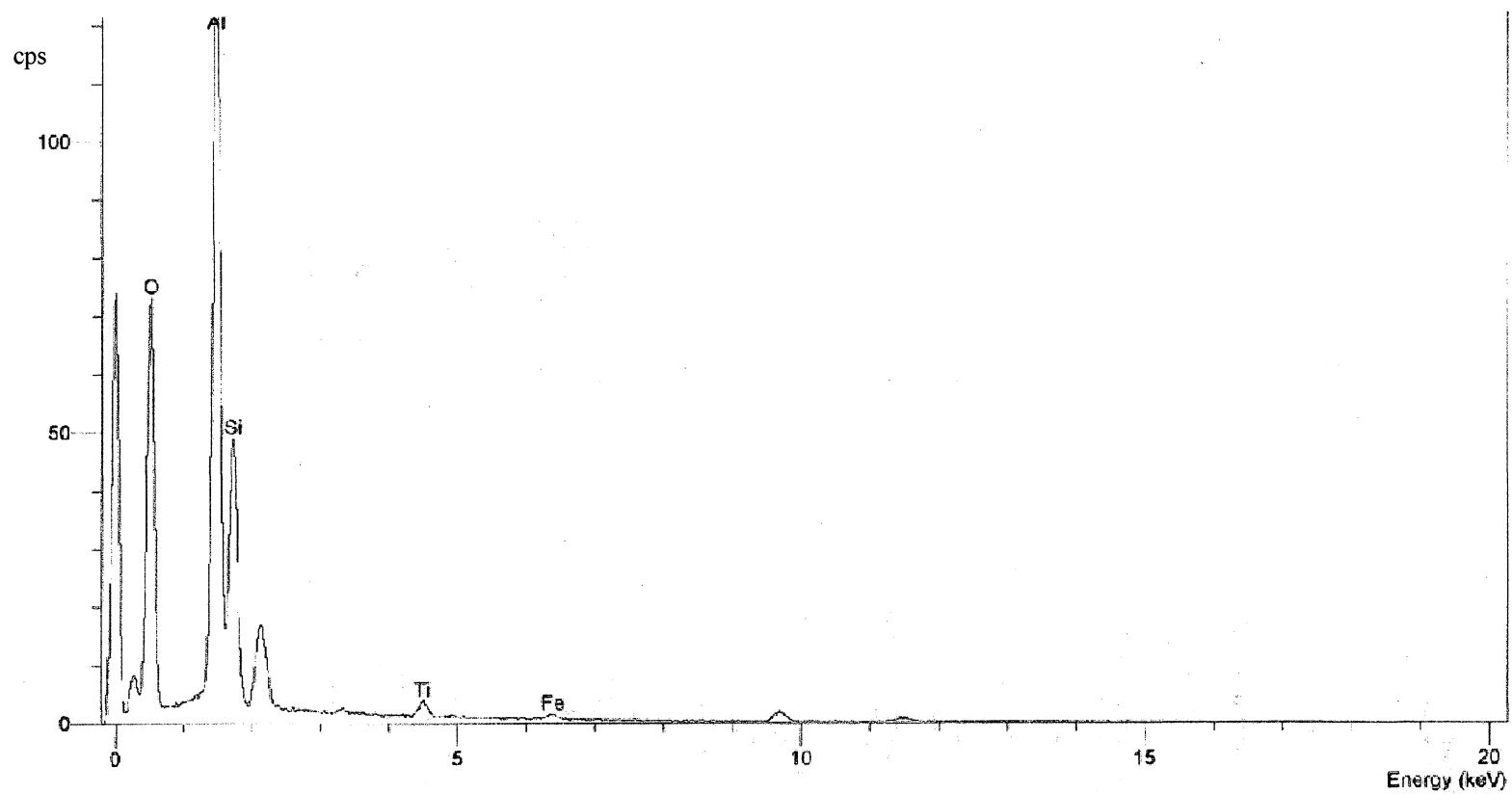


**EDS 4.4** – Microanálise química semi-quantitativa pontual da amostra TA-04, referente à imagem 4.7. Os picos de Ti, semi-quantificados em 51% em massa, confirmam presença do óxido de titânio sob a forma de cristais euédricos de anatásio.



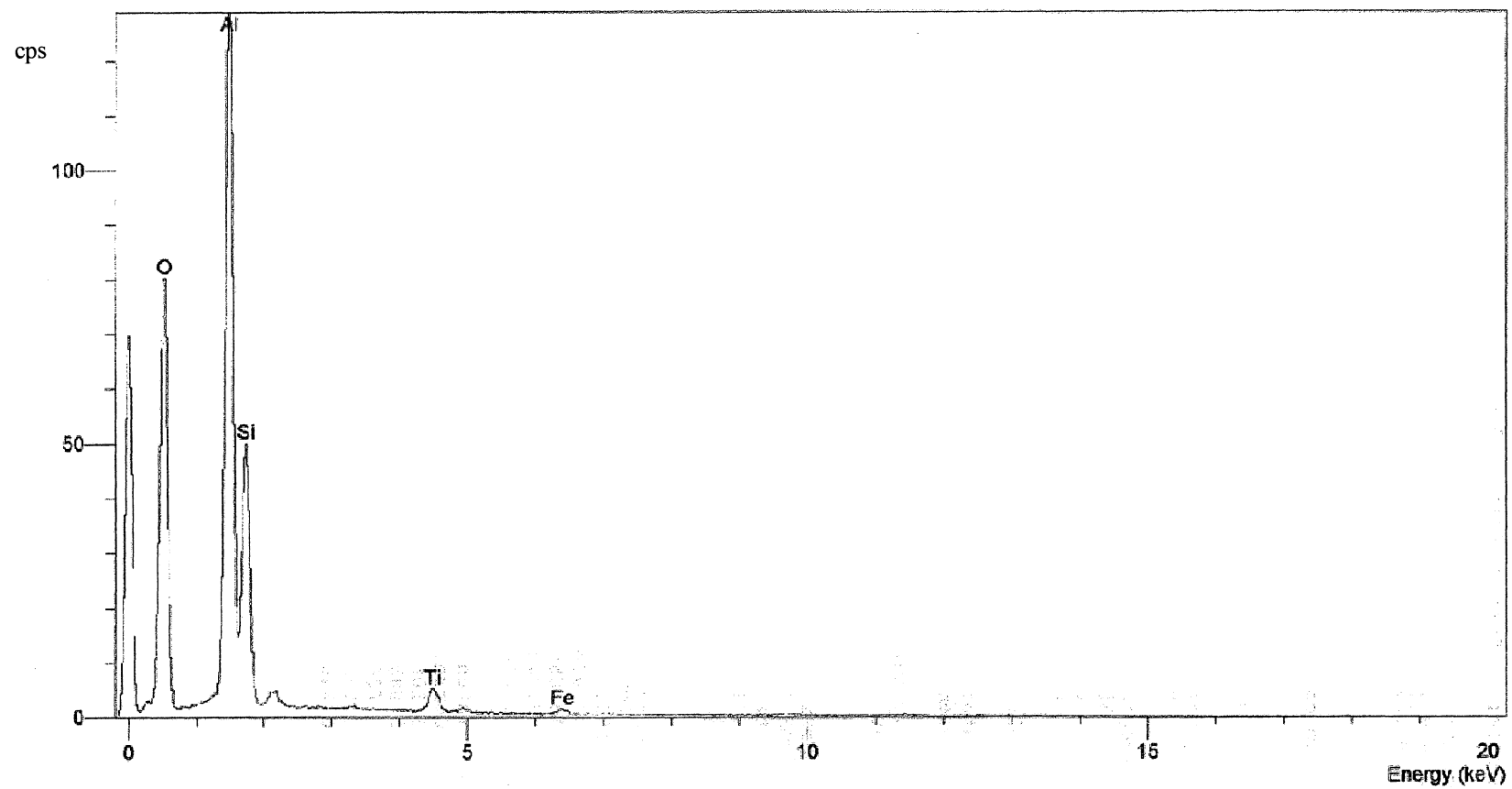
**Imagem 4.8** – MEV (sinal de elétrons retroespalhados – aumento de 351 X). Aspecto geral da fácies argila. As análises químicas semi-quantitativas pontuais (EDS) indicaram presença de Si, Al, O, Ti e Fe para todos os pontos analisados. Amostra TA-06



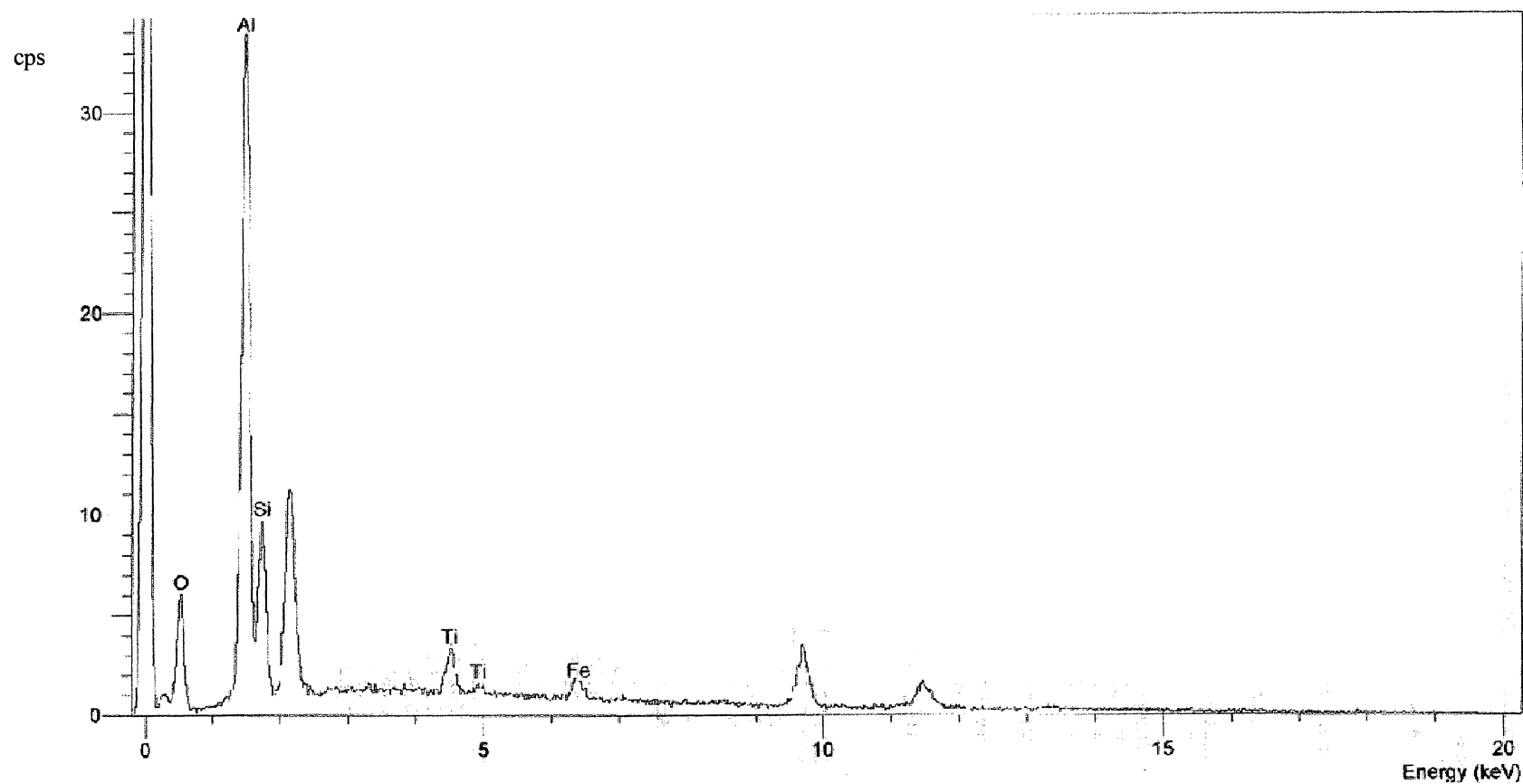


**EDS 4.5 (1)** – Microanálise química semi-quantitativa pontual da amostra TA-06. (ponto 1 da imagem 4.8). As concentrações em massa registraram O - 57% Al - 27% Si – 14% Ti - 1% e Fe - 0,5% confirmando fácies de matriz argilosa essencialmente caulinítica.

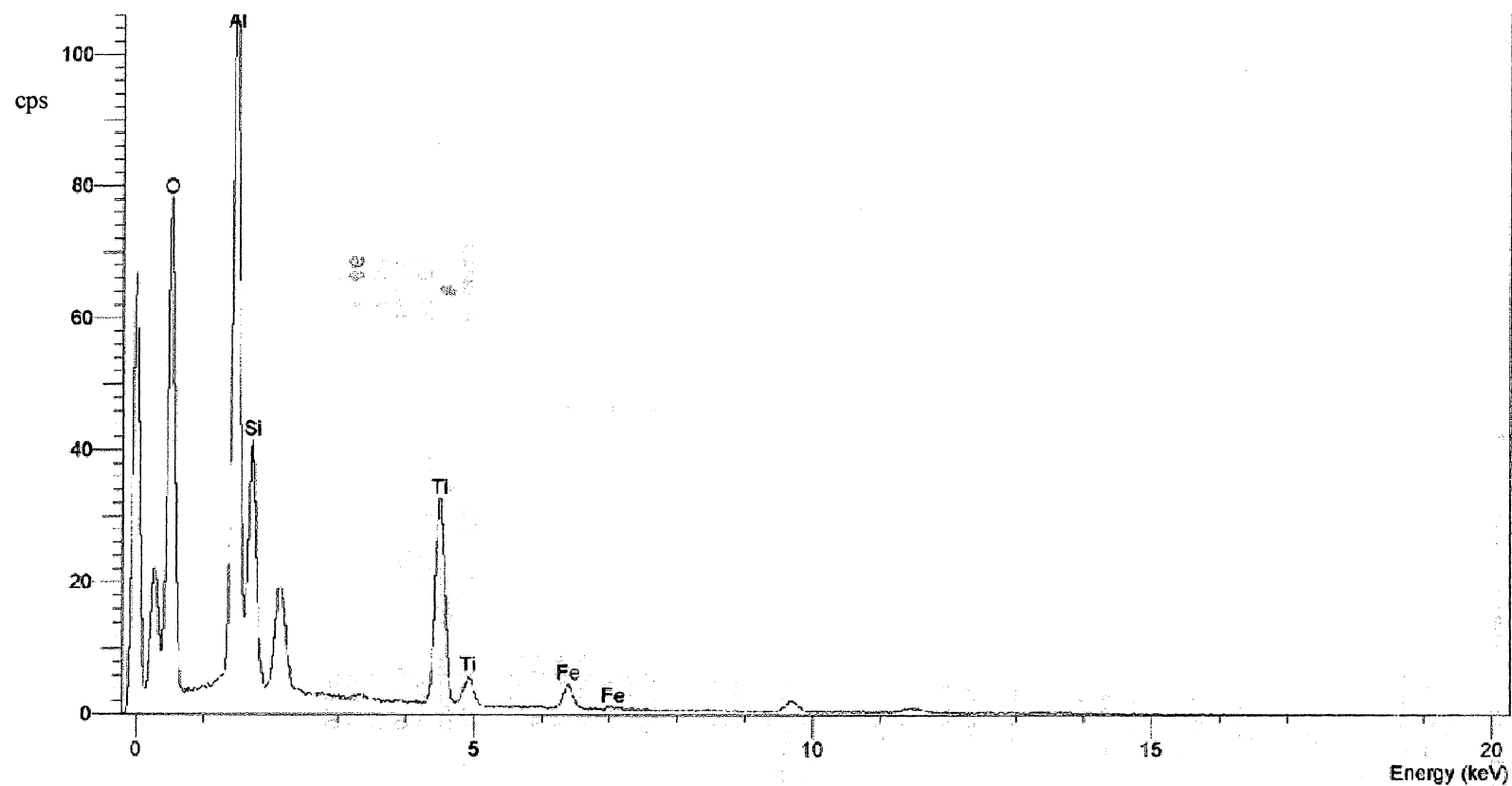




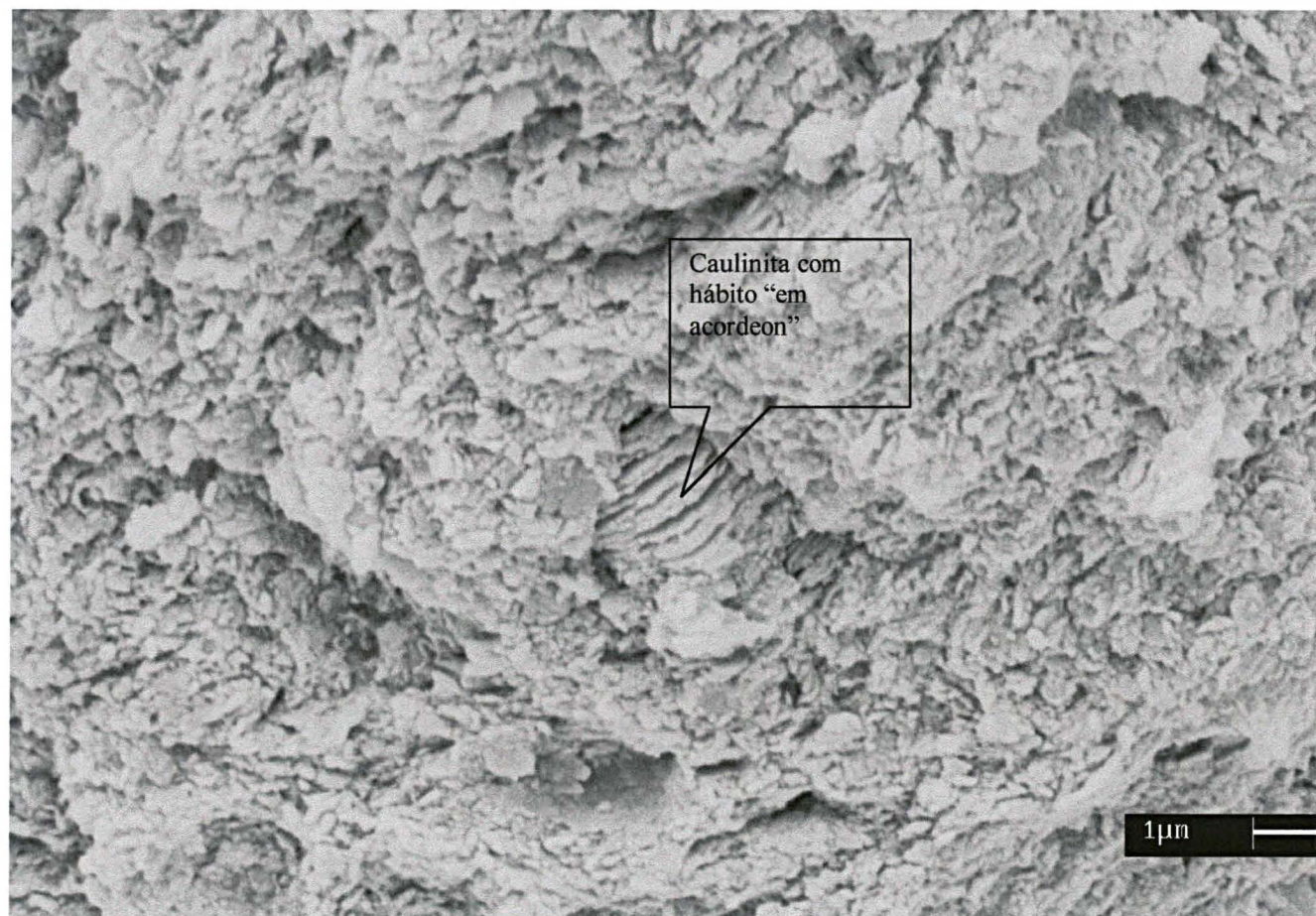
**EDS 4.5 (2)** – Microanálise química semi-quantitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 2 da imagem 4.8). Os resultados normalizados da concentração em massa dos elementos mostraram O – 59% Al – 26% Si – 12% Ti – 1,7% Fe – 0,6%. Valores muito próximos aos do ponto 1.



**EDS 4.5 (3)** – Microanálise química semi-quantitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 3 da imagem 4.8). Os resultados normalizados da concentração em massa dos elementos registraram O – 36% Al – 38% Si – 16% Ti – 5% Fe – 4%. Os teores em Ti foram atribuídos a prováveis cristais de anatásio imersos na matriz caulinitica (cristais com hábito subédrico na imagem).



**EDS 4.5 (4)** – Microanálise química semi-quantitativa pontual da amostra TA-06 (ponto 4 da imagem 4.8). Os resultados normalizados da concentração em massa dos elementos registraram O – 60% Al – 19% Si – 8% Ti – 10% Fe – 2%. No ponto analisado, sobressaem as tonalidades claras indicando concentração de elementos com maior peso atômico. A forma granular sugere cristalização de anatásio e/ou ilmenita.



**Imagem 4.9** – MEV (sinal de elétrons secundários – aumento de 15500 X). Fácies argila composta predominantemente por placas irregulares de caulinita, em agregados maciços, associada à rara ocorrência de caulinita orientada face a face (estrutura “tipo acordeon” incipiente). A análise química qualitativa pontual detectou presença de Si, Al, O, Fe e Ti. Amostra TA-08



**Imagem 4.10** – MEV (sinal de elétrons secundários - aumento de 10700 X). Caulinita pseudo-hexagonal. Ocorrência esporádica na fácies argila. Amostra TA-08



## 4.4 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

### 4.4.1 - Análise química para óxidos maiores

Foram analisados quimicamente os óxidos de Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K e P pelo método de fluorescência de raios X, em fração menor que 44  $\mu\text{m}$ , de amostras representativas de seções da Mina Fazendinha (Tabela 4.3).

Na fácies argila siltosa, os teores do  $\text{SiO}_2$  variam entre 66% e 40% e os de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , entre 11% e 32%. Na fácies argila, os valores de  $\text{SiO}_2$  oscilam entre 62% e 43% e os de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  estão entre 19% e 29%. Mineralogicamente estas fácies são compostas por caulinita, quartzo e illita.

De uma maneira geral, todas as fácies possuem teores muito baixos de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (abaixo de 0,1%); porém os valores de  $\text{MgO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  nas fácies argila e argila orgânica são mais elevados, o que pode ser justificado pela presença, em pequenas percentagens, de minerais do grupo das micas (illita) e/ou presença de maiores teores de matéria orgânica. De qualquer forma, os valores traduzem meio altamente lixiviante e insaturado em cátions e bases trocáveis

Os teores de  $\text{TiO}_2$  são muito altos e variáveis oscilando entre 1,05% e 3,55% na fácies argila e entre 0,53% e 3,00% na fácies argila siltosa. Os maiores teores de  $\text{TiO}_2$  relacionam-se aos topos e às paleossuperfícies correspondendo à concentrações residuais, seja na forma de óxido insolúvel ou de cristalitos como anatásio e/ou ilmenita.

O ferro, na forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , apresenta teores entre 0,71% e 2,56% porém, certas amostras apresentam teores anômalos em ferro. É o caso da amostra TB-02, com 5,77% (maior concentração de marcas da oscilação do lençol freático, observados em campo através de níveis amarelo ocre e avermelhados: “anéis de Liensengang”) e TC-18B, com 4,98 % (formam bolsões amarelados enriquecidos em ferro e considerados como rejeito pela mineradora Tabatinga).



AMOSTRAS	FÁCIES	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
TA-1	AS	52,48	19,33	0,53	1,46	0,002	0,02			0,10	0,01
TA-2	ASng	44,98	25,09	0,53	1,15	0,002	0,01			0,09	0,01
TA-3	ASng	44,16	28,79	1,97	1,09	0,005	0,043	0,05	0,12	0,12	0,02
TA-4	AS	42,23	32,38	1,91	1,75	0,004	0,05	0,05	0,06	0,15	0,02
TA-5	ASng	40,47	26,1	2,83	0,91	0,002	0,02			0,08	0,01
TA-6	ASng	44,6	28,75	2,59	1,28	0,005	0,09	0,06	0,24	0,18	0,03
TA-8	A	43,4	28,77	1,62	2,56	0,006	0,16	0,03	0,07	0,72	0,06
TB-2	ASng	46,78	25,67	2,88	5,77	0,010	0,04	0,01	0,09	0,16	0,02
TC- 1	ASt	43,6	18,72	3,21	3,05	0,010	0,21	0,08	0,07	0,17	0,09
TC-2	ASt	55,18	15,41	3,28	3,17	0,010	0,14	0,02	0,01	0,17	0,05
TC-3	ASt	59,71	16,26	2,75	3,88	<0,010	0,08	<0,01	<0,01	0,09	0,03
TC-4	ASng	41,35	26,91	3	2,15	<0,010	0,09	<0,01	<0,01	0,18	0,02
TC-5	ASng	56,73	22,94	2,76	2,1	0,010	0,17	0,01	<0,01	0,19	0,02
TC-6	AS	45,41	27,07	1,8	1,07	<0,010	0,03	<0,01	<0,01	0,10	0,02
TC-7	A	53,34	23,4	2,45	1,27	<0,010	0,06	<0,01	<0,01	0,12	0,02
TC-8	A	50,19	25,21	2,73	1,05	<0,010	0,05	<0,01	<0,01	0,09	0,02
TC-9	A	47,22	26,43	3,55	0,98	<0,010	0,04	<0,01	<0,01	0,12	0,02
TC-10	A	44,28	28,81	2,46	0,91	<0,010	0,02	<0,01	<0,01	0,11	0,02
TC-11	A	62,3	19,52	1,04	1,77	0,010	0,02	0,01	<0,01	0,12	0,02
TC-12	A	61,44	20,16	0,98	1,5	0,010	0,03	<0,01	<0,01	0,11	0,04
TC-13	A	52,4	25	2,1	1,8	0,010	0,03	<0,01	<0,01	0,17	0,03
TC-14	A	47,14	27,1	2,42	1,84	0,010	0,05	<0,01	<0,01	0,22	0,03
TC-15	ASng	46,24	28,21	2,36	1,63	0,010	0,06	0,01	<0,01	0,20	0,01
TC-16	ASng	66,33	11,99	0,8	0,81	<0,010	0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,02
TC-17	AS	45,11	28,56	2,92	1,11	<0,010	0,03	<0,01	<0,01	0,17	0,02
TC-18	AS	50,66	27,18	3,24	1,33	<0,010	0,06	0,01	<0,01	0,25	0,02
TD-1	ASng	75,1	13,18	1,89	0,71	0,010	0,03	0,01	0,04	0,09	0,02
TD-2	A	49,34	28,39	2,54	0,72	<0,010	0,04	0,06	0,09	0,13	0,02
TD-3	Ao	50,19	27,08	1,72	2,87	0,010	0,16	0,03	0,01	0,56	0,05
TE-1	Ao	45,88	19,7	1,88	0,81	<0,010	0,11	0,09	0,06	0,22	0,02
TF-1	ASng	48,08	23,62	2,04	0,8	<0,010	0,11	0,09	0,06	0,22	0,02
TF-2	Ao	45,35	28,35	1,05	1,12	<0,010	0,09	0,07	0,11	0,19	0,02

**Tabela 4.3** - Resultados das análises químicas para óxidos maiores da fração argila de amostras representativas das diferentes fácies da Bacia de Tijucas do Sul na Mina Fazendinha. ASt – fácies argila siltosa com turfa A-fácies argila AS – fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos ASng – fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos Ao – fácies argila orgânica.

#### 4.4.2 - Relações entre a geoquímica, fácies e as paleossuperfícies

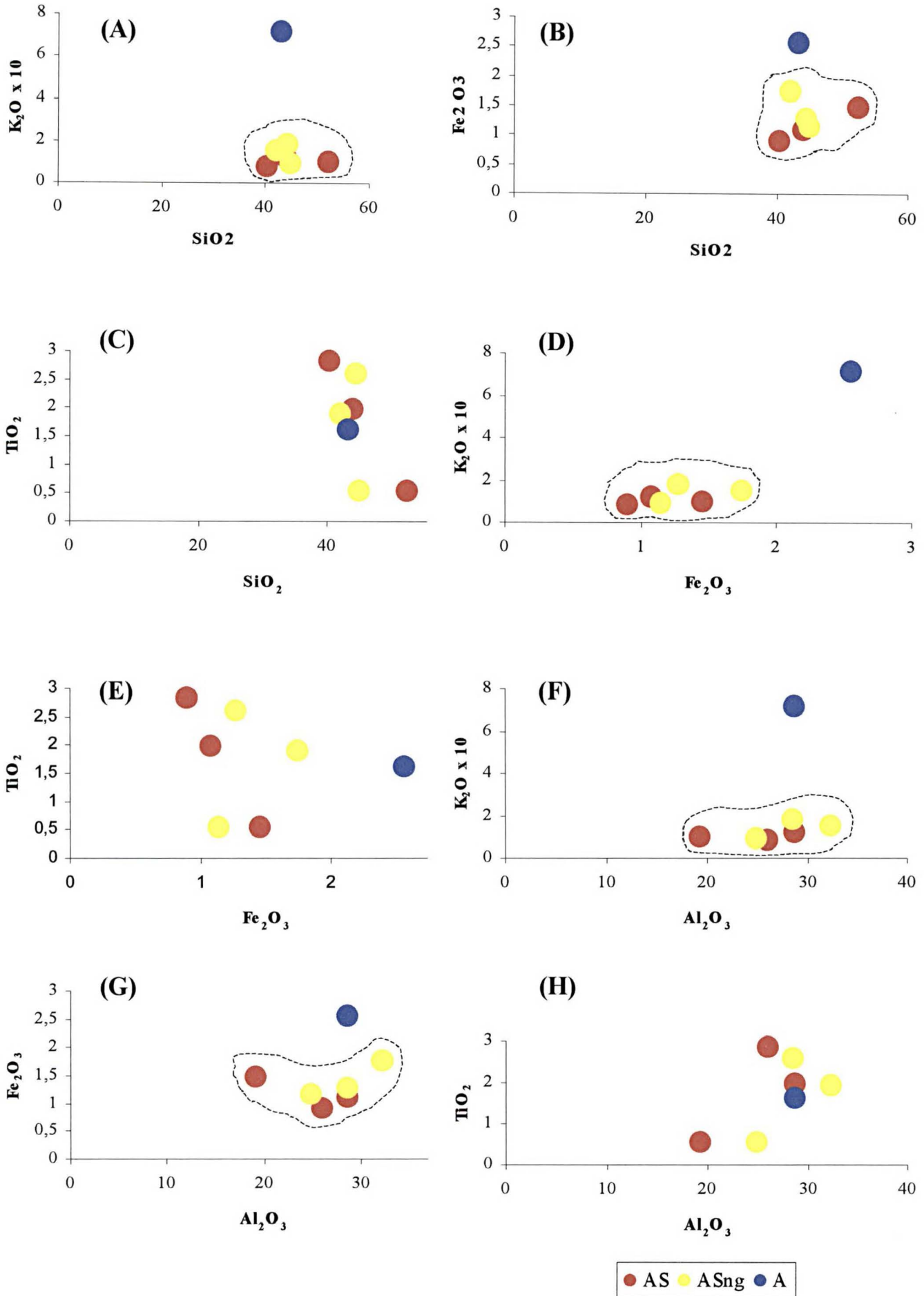
Os valores químicos foram colocados em gráficos binários visando à correlação com as fácies das seções TA e TC (Figuras 4.33 e 4.34). Para a seção TA, observa-se que em pelo menos cinco dos gráficos de óxidos (figuras 4.33 A, B, D, F e G), a fácies de argila siltosa forma um agrupamento separado da fácies argila. Os óxidos determinantes desta diferenciação são o  $K_2O$  (ligado à ilita) e o  $Fe_2O_3$  (possivelmente ligado à óxidos de ferro dos “anéis de Liesegang”, à clorita/vermiculita e ao anatásio ou/e ilmenita). Na seção TC, o agrupamento das fácies argila siltosa rica em gibbsita, fácies argila siltosa pobre em gibbsita e fácies argila é determinado pelo  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$  e pelo  $TiO_2$  (Figuras 4.34 A, B, E, F, G e H). Nesta seção, a fácies ASt forma um agrupamento isolado das demais fácies em função do  $Fe_2O_3$  como óxido de ferro de laterização de superfície (Figura 4.34 F e H) e um agrupamento determinado pelo  $TiO_2$  provavelmente relacionado à presença deste óxido na forma de anatásio e/ou ilmenita (Figura 4.34 G).

Os gráficos ternários de correlação dos teores do  $SiO_2$  X  $Al_2O_3$  X  $K_2O$  com as fácies identificadas nas seções estudadas (Figura 4.35) apresentaram um agrupamento não muito bem definido entre as fácies argila e argila siltosa rica em gibbsita. O óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), na forma de gibbsita, e o óxido de potássio ( $K_2O$ ), na forma de ilita, foram interpretados como compostos responsáveis por estas diferenciações faciológicas. Os gráficos de  $SiO_2$  X  $Fe_2O_3$  X  $Al_2O_3$  (Figura 4.36) agrupam as fácies A e ASng em posições de maiores concentrações em  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  devido à gibbsita e ao quartzo serem mais abundantes na fácies ASng.

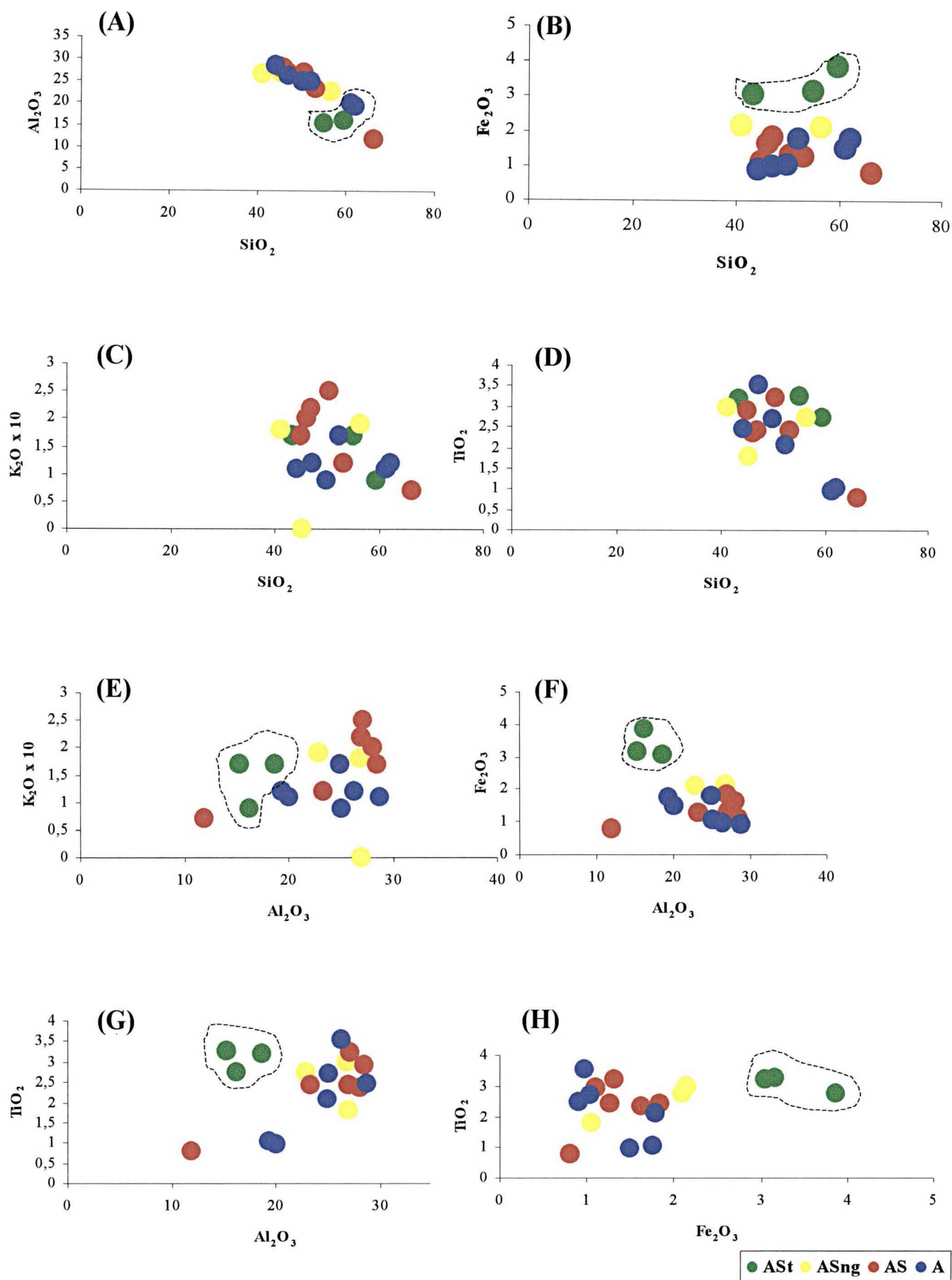
Gráficos de linhas mostram a variação do teores do  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  e  $K_2O$  para as seções TA e TC (figuras 4. 37 e 4.38). Na seção TC (Figura 4. 38) os picos dos

óxidos, principalmente do  $\text{SiO}_2$  e do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , encontram-se bem definidos e ocupam posições correlacionáveis à uma maior aluminização e à uma intensa dessilicificação. Esses processos, observados na superfície atual, foram usados como critérios adicionais na caracterização das paleossuperfícies. Os pontos correspondentes às paleossuperfícies (S1 e S2), identificadas em campo mostram picos bem definidos de aluminização e dessilicificação. Processo químico também muito nítido na superfície atual do depósito (S0).

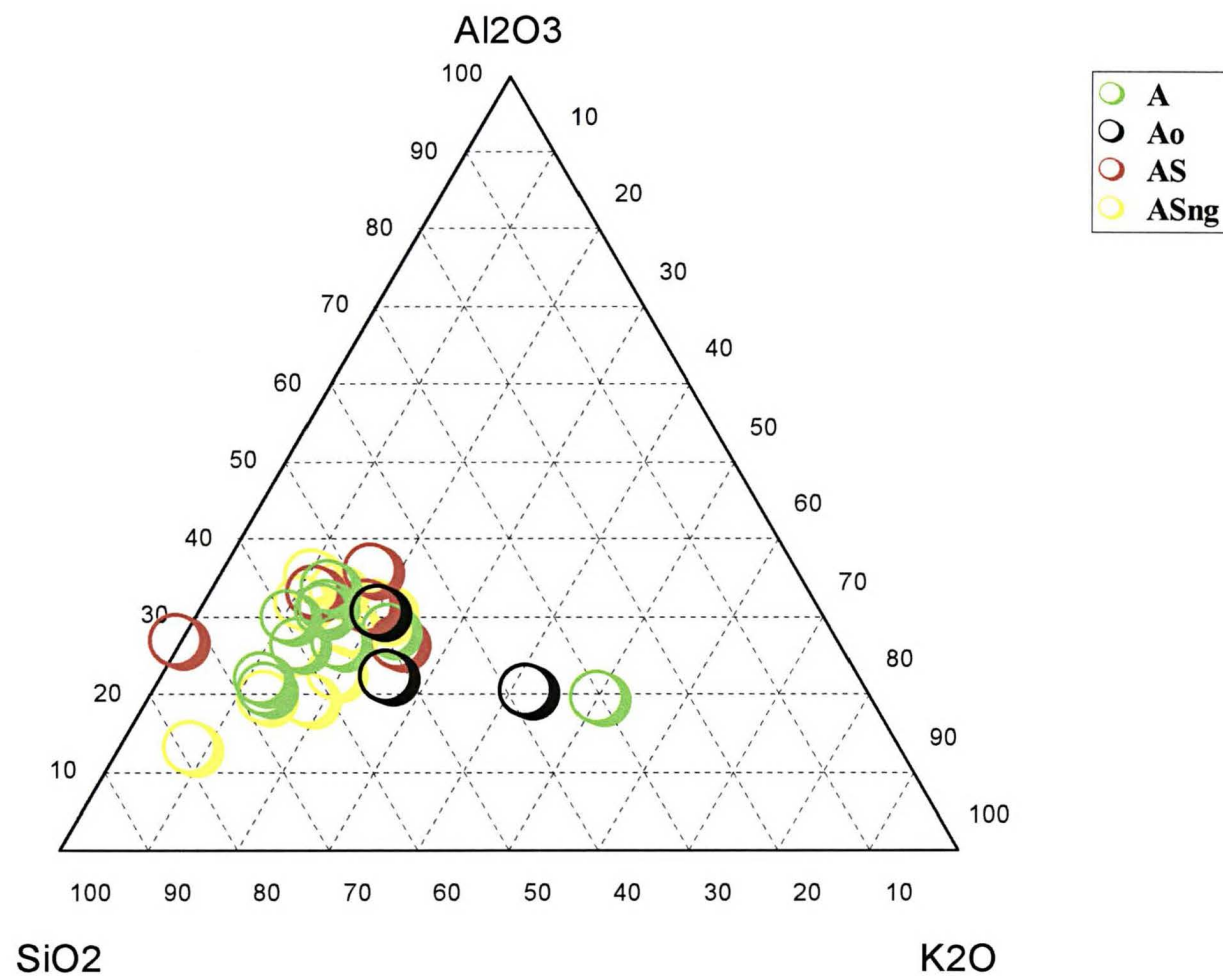
Os teores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  acompanham os picos de dessilicificação e aluminização e formam concentrações residuais também nos topos das seções, seja na forma de óxidos insolúveis (concentrados principalmente nos “anéis de Liensengang”) ou como cristais de anatásio e/ou ilmenita (identificados ao MEV/EDS). A concentração de tais óxidos é indicativa dos processos de lixiviação e laterização das superfícies.



**Figura 4.33** – Gráficos binários dos principais componentes químicos em valores ppm. Seção TA. AS = fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos ASng = fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos A = fácies argila

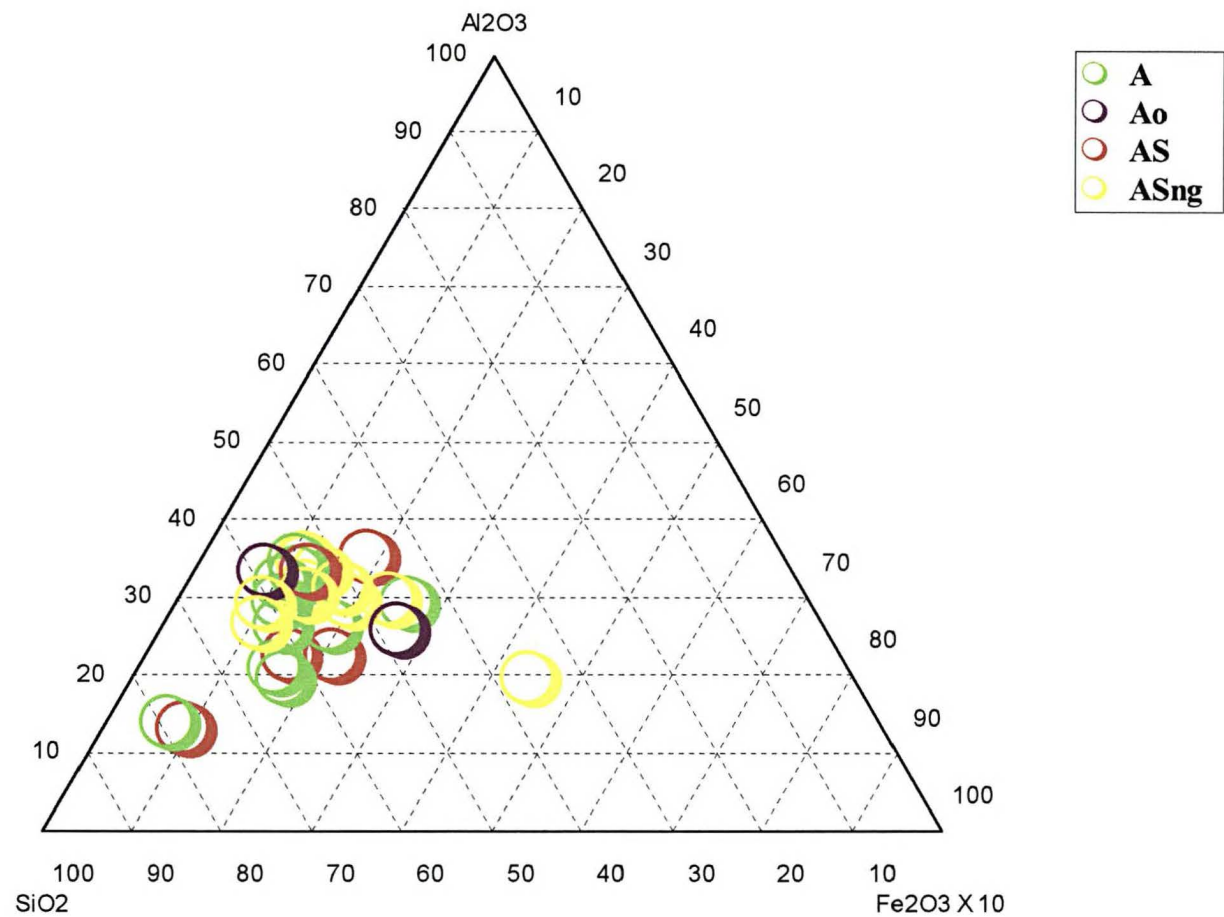


**Figura 4.34** – Gráficos binários dos principais componentes químicos em valores ppm. Seção TC. ASst= fácies argila siltosa com turfa ASng= fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos AS= fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos A= fácies argila.

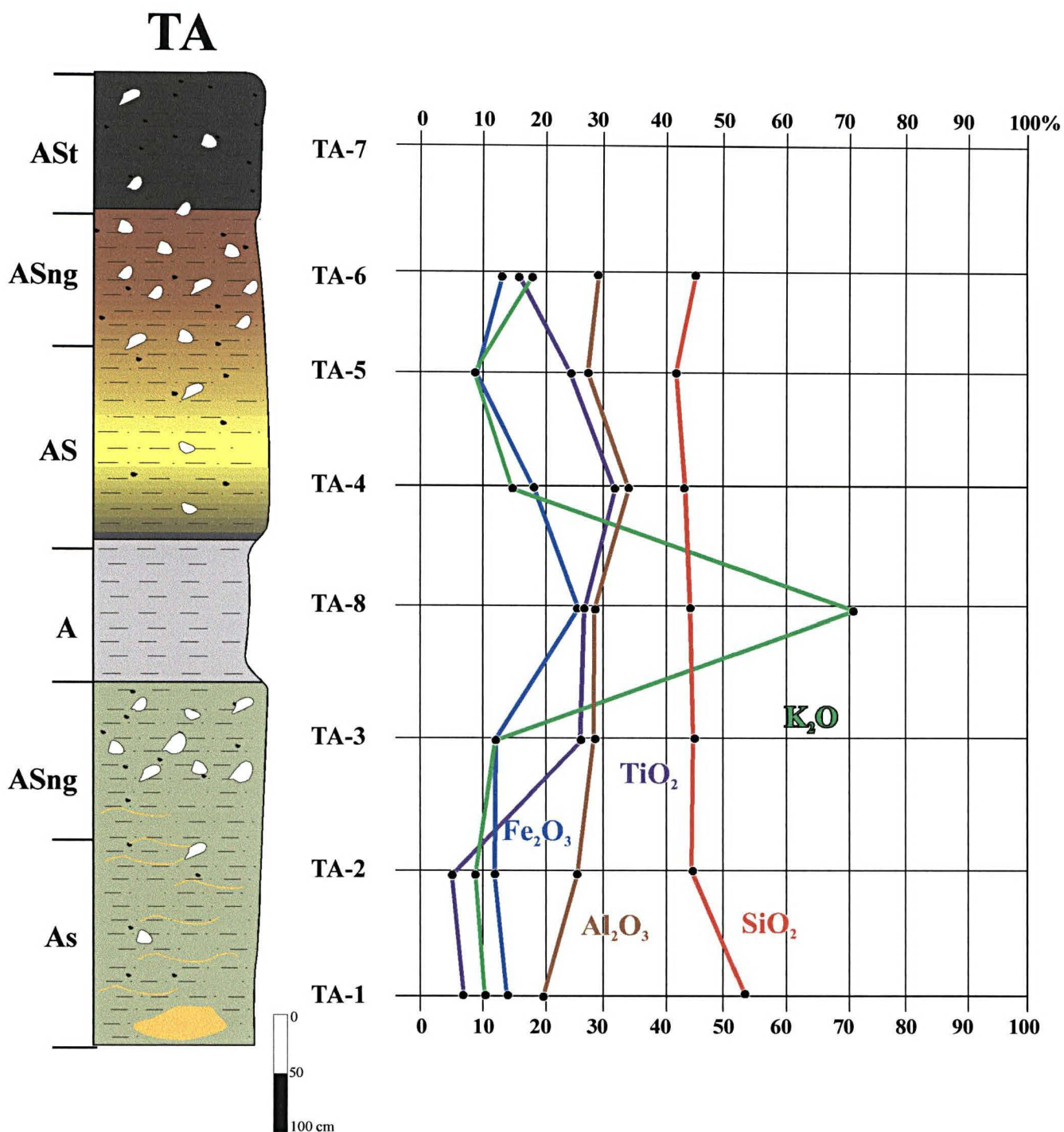


**Figura 4.35** – Diagrama ternário representativo de óxidos maiores predominantes nas fácies. A= fácies argila, Ao= fácies argila orgânica, AS= fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos e ASng= fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos,

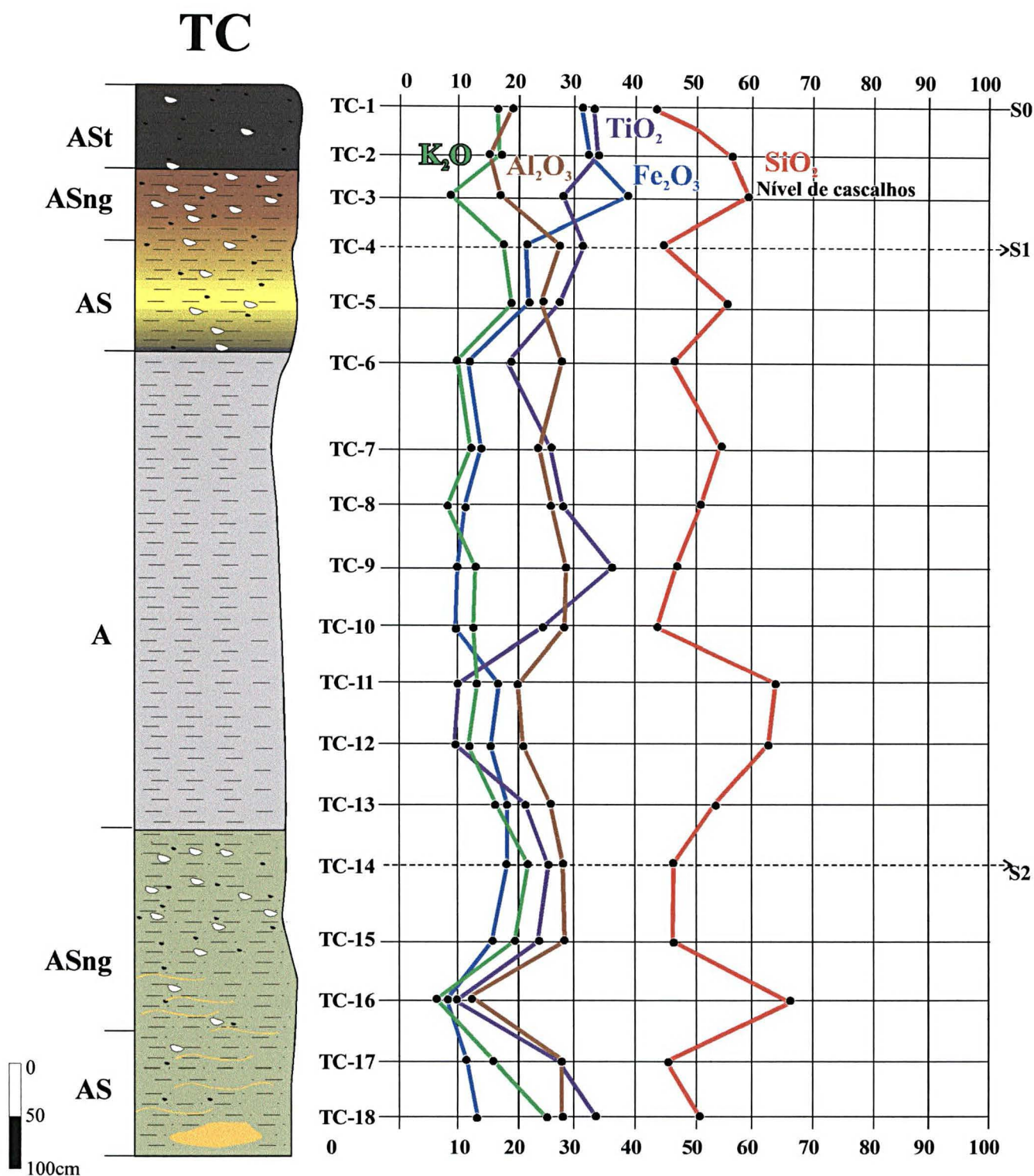




**Figura 4.36** - Diagrama ternário representativo de óxidos maiores predominantes nas fácies. A= fácies argila, Ao= fácies argila orgânica, AS= fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos e ASng = fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos.



**Figura 4.37** - Distribuição vertical dos teores químicos dos principais óxidos da seção TA.  
 % óxidos -  $K_2O \times 100$ ,  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3 \times 10$ ,  $SiO_2$  e  $Al_2O_3 \times 1$



**Figura 4.38** - Distribuição vertical dos teores dos principais óxidos, com indicação das superfícies. S0= superfície atual, S1 e S2 = paleossuperfícies.  
Seção TC. % óxidos -  $K_2O \times 100$ ,  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3 \times 10$ ,  $SiO_2$  e  $Al_2O_3 \times 1$

#### 4.4.3 - Capacidade de troca catiônica (CTC) e dosagem de matéria orgânica

A determinação semiquantitativa dos cátions trocáveis e a avaliação do estado de saturação em amostras representativas das fácies caracterizadas no depósito, serviram como fontes de avaliação química e física do meio em que se encontram os minérios argilosos (tabela 4.4 e figura 4.39).

Embora o teor de Ca seja, de modo geral, baixo (entre 0,6 a 1,4 meq/100g), seus valores representam o elemento trocável dominante (Tabela 4.4 e figura 4.39 C). Desses valores, os correspondentes às amostras argilosas mais escuras ou turfosas são os mais altos (amostras TC-01 e TD-03).

Os teores de Mg variam entre 0,4 e 0,6 meq/100g (Figura 4.39 C), enquanto os teores de K (figura 4.39 D) são muito baixos, entre 0,02 e 0,07 meq/100g, refletindo a intensa lixiviação desse elemento nos sedimentos.

A CTC total resultante da soma de cátions trocáveis (K + Ca + Mg) mais Al + H varia entre 8,4 e 22,6 meq/100g. Segundo Grim (1962), valores até 30 meq/100g para CTC são indicativos de meio predominantemente caulínítico. Argilominerais expansíveis, como por exemplo, esmectita, favorecem a reatividade do meio por haver maior percolação de elementos trocáveis entre camadas. Isto implica o aumento da CTC que, normalmente, apresentará valores acima de 50 meq/100g. A presença de matéria orgânica implica também aumento de reatividade do meio, devido principalmente à adsorção temporária de cátions na matéria derivada da dissociação de grupos carboxila, com elevada superfície específica. Dentre as amostras estudadas, este é o caso das fácies argila siltosa com turfa e argila orgânica, cujos valores obtidos para CTC são mais elevados que nas demais fácies da seção (TC-01, TC-02, TC-03 e TD-03). Desse modo, pode-se dizer que, para as amostras estudadas, os valores de CTC encontrados estão diretamente relacionados com a mineralogia caulínítica

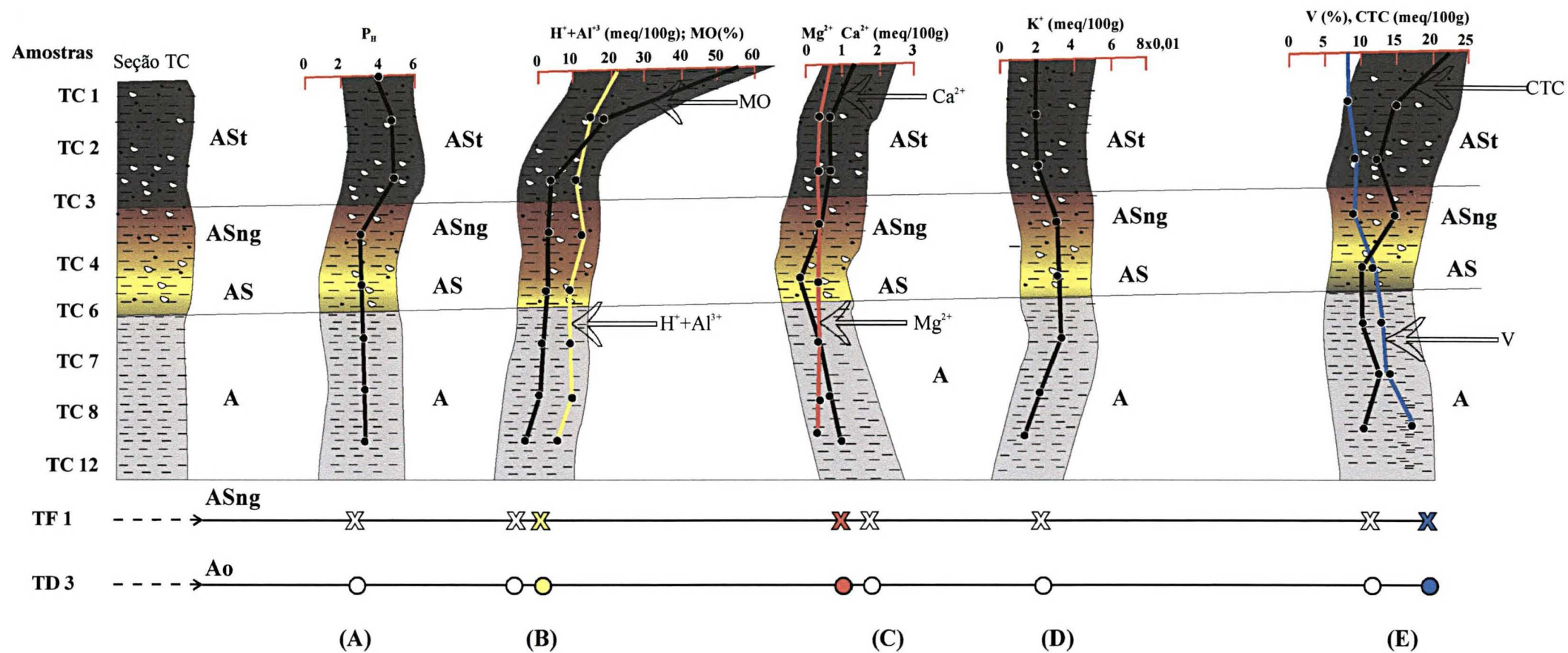
da fração argila e com a matéria orgânica associada à mesma fração nos sedimentos (Figura 4.39 B e E). A relação entre cátions e bases tocáveis com a CTC é expressa através de V (%) na figura 4.39 E).

AMOSTRAS	pH (CaCl <sub>2</sub> )	FÁCIES/COR	Al <sup>+3</sup> meq/100g	H+Al meq/100g	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup> meq/100g	Ca <sup>+2</sup> meq/100g	Mg +2 meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g	CTC meq/100g	MO (%)	V (%)
TC-01	4,00	ASt/preta	5,0	20,6	2,0	1,4	0,6	0,02	22,6	55,9	8,9
TC-02	4,10	ASt/preta	2,1	13,1	1,2	0,8	0,4	0,02	14,3	18,5	8,5
TC-03	4,10	ASt/preta	1,8	11,3	1,2	0,8	0,4	0,02	12,5	5,6	9,7
TC-04	3,90	ASng/marron	2,9	12,1	1,1	0,7	0,4	0,03	13,2	4,3	8,5
TC-06	3,90	ASng/marron	2,0	8,4	1,0	0,6	0,4	0,03	9,4	3,8	10,9
TC-07	3,90	AS/cinza	2,0	8,4	1,1	0,7	0,4	0,03	9,5	3,8	11,9
TC-08	3,90	A/cinza	2,2	9,0	1,1	0,7	0,4	0,02	10,1	3,8	11,1
TC-12	3,90	A/cinza	2,0	7,2	1,2	0,8	0,4	0,01	8,4	3	14,4
TF-01	3,60	ASng/marron	4,6	16,3	1,4	1,0	0,4	0,04	17,7	21	8,1
TD-03	3,60	Ao/preta	4,3	16,3	1,9	1,4	0,5	0,07	18,3	24	10,8

**Tabela 4.4** - Valores de componentes químicos do meio (pH, CTC=Capacidade de troca catiônica, V= saturação em cátions e bases, MO= Dosagem da matéria orgânica em relação ao carbono total obtidos em amostras representativas das fácies, A=fácies argila, ASng=fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos, AS=fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos, ASt=fácies argila siltosa com turfa e Ao=fácies argila orgânica.

Os picos das curvas de H+Al e Ca+Mg (figura 4.39 B e C) nos níveis correspondentes às amostras TC-04 e TC-08 estão diretamente relacionados com a elevação da CTC (figura 4.39 E). Esta característica é indicativa da maior aluminização através do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inerente às paleossuperfícies caracterizadas no depósito. Ao que tudo indica, trata-se de um meio caulinizado e insaturado em cátions e bases trocáveis, acidificado por prótons H e Al (Melfi e Pedro, 1977).





**Figura 4.39** - Relação entre cátions e bases trocáveis - com o pH, a CTC, V e a matéria orgânica. Seção TC. Amostras TD-03 e TF-01.



## **CAPÍTULO 5 - OS DEPÓSITOS DA BACIA DE TIJUCAS DO SUL**

### **5.1 - PROCESSOS DEPOSICIONAIS E ASPECTOS DIAGENÉTICOS**

#### **5.1.1 - Associações e seqüências de fácies**

Os depósitos de argila caulinitica que se encontram na Bacia de Tijucas do Sul, na área da Mina Fazendinha e arredores, foram, com base na análise de fácies feita neste trabalho, interpretados como resultantes de processos deposicionais operantes em leques aluviais medianos a distais e nas zonas de inundação adjacentes.

A fácies ASng, constituída por depósitos argilo-siltosos maciços com abundância de nódulos de gibbsita e de grânulos de quartzo e feldspato flutuantes na matriz, foi atribuída a processos de fluxos de detritos na porção mediana de leques aluviais. Os hidróxidos de alumínio são produtos da dessilicificação e aluminização das argilas, muito intensas, em certas épocas. Processos de hidrólise e lixiviação favoreceram a concentração residual dos hidróxidos de Al, sobretudo nos topos das seções. A variedade de formas que apresenta a gibbsita, deve-se à prováveis variações de porosidade e do meio associadas à oscilação do lençol freático e processos de nucleação nodular, até hoje não muito bem compreendido, não só para os nódulos de gibbsita, mas para os nódulos em geral.

A fácies AS, representada por depósitos argilo-siltosos com nódulos e grânulos raros a ausentes, corresponderia a fluxos de detritos em posição distal, no leque aluvial externo.

O horizonte caulínítico maciço, de geometria lenticular e cor cinza claro a branco (fácies A), foi atribuído a processos de deposição em regime de suspensão, provavelmente em

corpos de água temporários, formados pelo empoçamento das águas na franja do leque aluvial.

A fácies argila orgânica (Ao) é constituída por argila preta a azulada de ocorrência esporádica no depósito. Foi atribuída a processos deposicionais associados a leques aluviais distais, mais especificamente a depósitos de suspensão em leque distal “abandonado” com sedimentação orgânica maior que aporte terrígeno.

O material argilo-siltoso de cor preta, com matéria orgânica vegetal particulada, localizado no topo do depósito (fácies ASt), representa o acúmulo “in situ” de restos vegetais por processos de suspensão associados a processos pedogenéticos. Estes processos teriam sido sediados na franja dos leques aluviais, já em fase de abandono do aporte terrígeno, com estagnação e entulhamento das poças. Os níveis de cascalhos que parecem interdigitar a fácies com turfa, provavelmente relacionam-se á processos recentes de enxuradas.

Nas seções verticais estudadas, a associação das fácies com nódulos e grânulos é a sobreposição, em contato transicional, da fácies AS pela fácies ASng. Esta associação pode ser traduzida pela presença de nódulos de gibbsita com concentração e tamanho crescentes em sentido ascendente. Caracterizou-se uma intercalação argilosa entre a associação das fácies ASng e AS, com recorrência na maioria das seções.

O quadro 5.1 mostra um resumo dos processos deposicionais e aspectos diagenéticos atribuídos às diferentes fácies caracterizadas nos depósitos da Mina Fazendinha.

### **5.1.2 - Interpretação**

O predomínio de caulinita detrítica entre os argilominerais permite interpretar condições deposicionais favoráveis à hidrólise, compatíveis com paleoclima úmido. Nesse contexto, a distribuição crescente ascendente de gibbsita, ao nível de cada paleossuperfície, é

<b>NOME DA FÁCIES</b>	<b>CÓDIGO DA FÁCIES</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>PROCESSOS DEPOSICIONAIS</b>	<b>ASPECTOS DIAGENÉTICOS</b>
Fácies argila siltosa com turfa	ASt	Material argilo-siltoso de cor preta, com matéria orgânica vegetal particulada. Linhas de cascalho esporadicamente associadas na base.	Acúmulo “in situ” de restos vegetais; suspensão (em brejos na franja de leque aluvial distal).	Processos pedogenéticos hidromórficos.
Fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos	ASng	Depósito argilo-siltoso maciço com abundância em nódulos subarredondados brancos e duros de gibbsita e grânulos de quartzo e feldspato disseminados	Fluxo de detritos (em leque aluvial mediano)	Estágio eodiagenético, com hidrólise intensa (lixiviação de $\text{SiO}_2$ com concentração residual de $\text{Al}_2\text{O}_3$ caracterizando as paleossuperfícies 1 e 2).
Fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos	AS	Depósito argilo-siltoso maciço com nódulos e grânulos raros a ausentes	Fluxo de detritos (em leque aluvial mediano)	Estágio eodiagenético, com dessilificação e aluminização característicos de hidrólise moderada.
Fácies argila	A	Argila maciça de geometria lenticular e cor cinza claro a branco	Suspensão (em corpos de água temporários na franja do leque aluvial distal)	Estágio eodiagenético com níveis de dessilificação e bauxitização.
Fácies argila orgânica	Ao	Argila maciça, preta, de ocorrência esporádica (sob a fácies argila siltosa com grânulos e nódulos).	Sedimentação orgânica maior que aporte terrígeno; suspensão (em leque distal “abandonado”)	Estágio eodiagenético

**Quadro 5.1** - Resumo da caracterização faciológica e dos processos deposicionais associados e aspectos diagenéticos atribuídos ao depósito da Mina Fazendinha.

sugestiva de que a lixiviação intensa continuou atuando mesmo após a deposição, tornando extremo o empobrecimento em sílica da matéria argilosa. Seguindo esse raciocínio, a gibbsita seria resultado da transformação eodiagenética da caulinita e o topo dos níveis ricos em gibbsita demarcariam paleossuperfícies expostas ao intemperismo. Assim seriam possíveis as existências de duas paleossuperfícies na maior secção estudada no depósito (figura.4.5 (a) e 4.29). Em suma, a presença da caulinita em paragênese com gibbsita retrata o processo hidrolítico de antigas camadas superficiais do depósito e representam a carapaça de laterização por dessilificação.

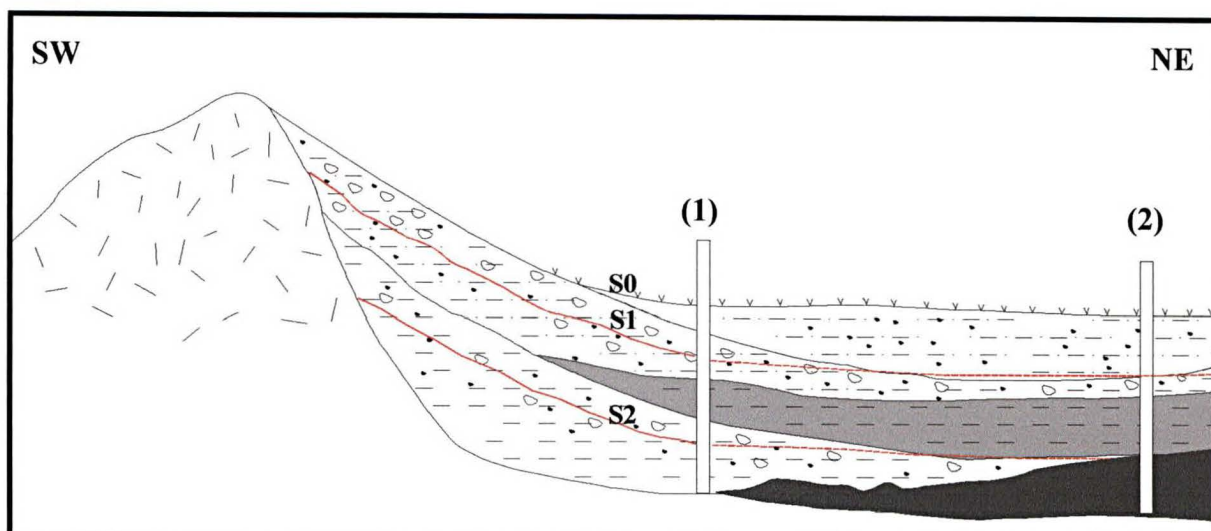
Dada a presença de níveis com gibbsita escassa ou ausente, a modificação eodiagenética por intemperismo em condições de intensa lixiviação não teria tido atuação igual em todas as fácies, seja por causa de mudanças no paleoclima, seja por diferenças de exposição, seja por contrastes de permeabilidade. A terceira hipótese explicaria a dessilificação não tão intensa nível de TC-10 (fácies A) com aluminização sem concentração de nódulos (pelo menos não foram encontrados) (figura 4.5 (a) e 4.29). A retirada do  $\text{SiO}_2$  estaria relacionada à menor impermeabilidade de argilas não tão puras, parecendo reforçar a hipótese de contraste de permeabilidade.

Nas seções colunares TA, TB e TC, a associação de fácies ASng-AS apresenta recorrência, intercalando-se às lentes de argila da fácies (A). A ocorrência inferior da associação ASng-AS, sob a fácies A, apresenta concentração de gibbsita menos pronunciada que sua recorrência acima. Desse modo, a ocorrência inferior pode ser encarada como um paleonível argilo-siltoso gibbsítico que teve seu desenvolvimento interrompido pela impermeabilização imposta pela deposição da fácies argila. A existência de nódulos tubulares subverticais na fácies ASng do topo do depósito, ainda em processo de consolidação (Fotos 5.1 e 5.2, figura 5.2), estaria relacionada à continuação recente do processo de lixiviação. Para se explicar a precipitação dos óxidos-hidróxidos deve-se considerar a existência de três

comportamentos principais dos elementos químicos sob a ação da água em sedimentos e solos. Alcalinos e alcalinos terrosos comportam-se como cátions solúveis, isto é, cercam-se de moléculas de água e são levados facilmente por ela. Os “elementos dos produtos de hidrólise” são aqueles que atraem mais fortemente as moléculas de água, quebrando-a, e unindo-se ao  $\text{OH}^-$  sob a forma de hidróxidos pouco solúveis. Finalmente os chamados “ânions complexos solúveis”, como B, C, P, etc atraem mais violentamente a molécula de água e quebram-na de modo a produzir um borato, carbonato, etc. O Ti, assim como o Al, o Mn e o  $\text{Fe}^{+3}$ , são típicos elementos de hidrólise. É até certo ponto previsível que eles formem hidróxidos pouco móveis (nódulos, “anéis de Liensengang” etc) e se concentrem no topo do perfil e/ou nas paleossuperfícies. Já o Si possui comportamento intermediário entre hidrólise e complexação, isto é, ele pode formar  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , que é solúvel. É por isto que, sob lixiviação intensa, o Si é solubilizado e o Ti e Al se concentram sob forma de anatásio e gibbsita, respectivamente. O Ti pode ocorrer ainda na estrutura da caulinita. A precipitação desses óxidos-hidróxidos ocorre heterogeneamente (formando nódulos) porque a dissolução, ou as condições que a controlam ( $\text{pH}$ , permeabilidade...) é heterogênea. A forma tubular de alguns nódulos pode refletir a precipitação da gibbsita à medida que ocorre descenso da água através de capilares subverticais. Se o descenso é freado (por exemplo pelo freático) a dissolução teroricamente diminui e a formação de gibbsita e anatásio também. Por isso a maior concentração de Al e Ti está relacionada aos topos dos perfis e/ou às paleossuperfícies, conforme observado na figura 4.5 (b).

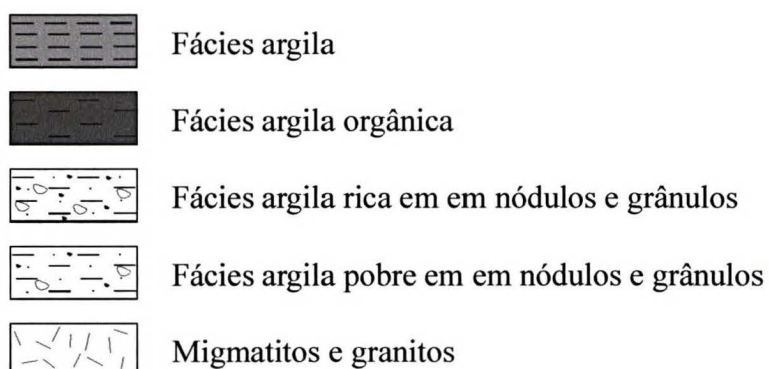
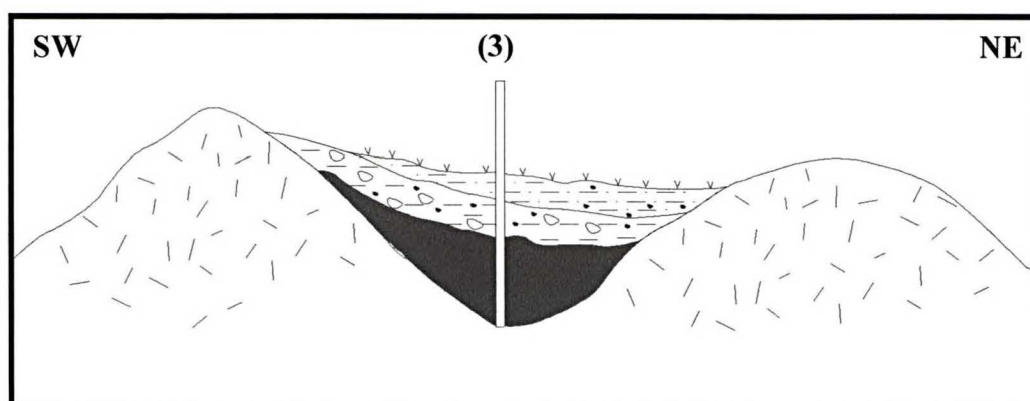
A figura 5.1 esquematiza a relação entre as distribuições horizontal e vertical de fácies, em vista do modelo deposicional admitido e da geomorfologia da região de Tijucas do Sul.

(A)



S0= superfície atual S1 e S2 = paleossuperfícies

(B)

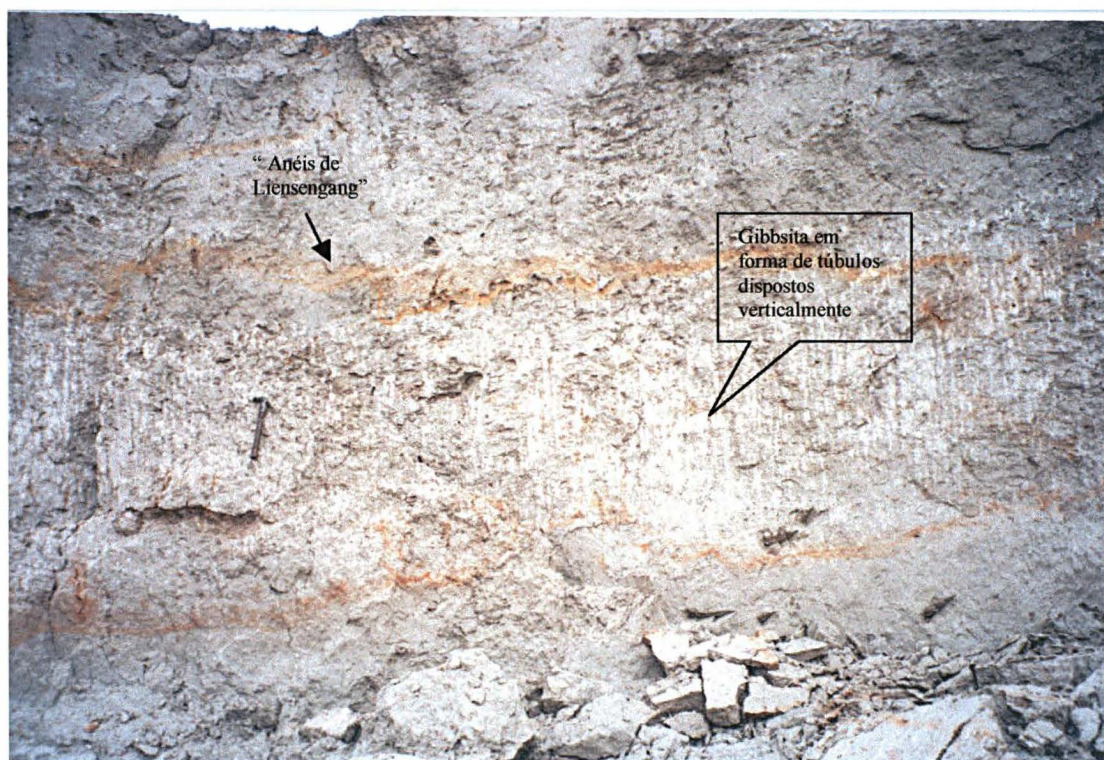


**Figura 5.1** - Esquema da relação entre a distribuição horizontal e vertical das fácies, segundo modelo admitido para o depósito Fazendinha. (A) - **Perfil 1** - Explica a intercalação da fácies argila (A) entre as fácies com nódulos e grânulos caracterizadas nas seções TA, TB e TC. **Perfil 2** - A fácies argila (A) localiza-se logo acima da fácies argila orgânica (Ao), tal como ocorre na seção TD. (B) - **Perfil 3** - Explica o contato direto da fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASng) com a fácies argila orgânica (Ao), conforme observado na seção TF.

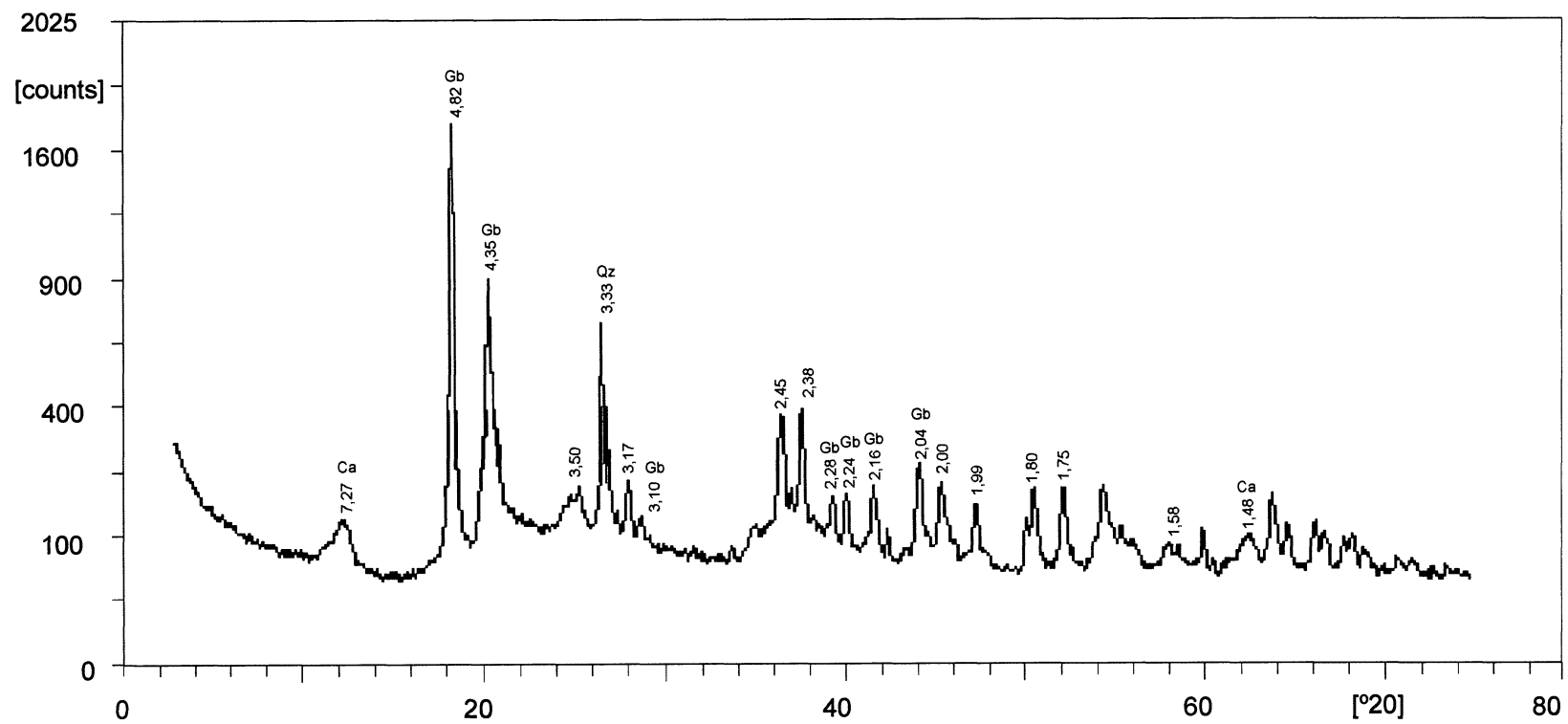




**Foto 5.1** - Aspecto geral da fácies que contém nódulos tubulares subconsolidados de gibbsita em paragênese com caulinita no topo do seção TC.



**Foto 5.2** - Aspecto de detalhe dos nódulos tubulares subconsolidados de gibbsita



**Figura 5.2** - Difratoograma de raios X dos nódulos de gibbsita. A amostra exibe o espectro completo da gibbsita.

## 5.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DOS ARGILOMINERAIS E RELAÇÕES COM A ÁREA FONTE

O depósito Fazendinha é composto essencialmente por caulinita e quartzo. A caulinita é quase sempre de natureza detritica e constitui o argilomineral predominante. Secundariamente ocorrem gibbsita, illita, clorita e/ou vermiculita. Como minerais acessórios, foram identificados ilmenita, zircão, rutilo, hornblenda, silimanita, epídoto e estauroлита, nos concentrados de pesados da fração areia, e leucoxênio/anatásio (mineral autógeno, formado a partir da ilmenita), em meio à argila. Nos concentrados de grãos pesados, é comum ainda a presença de agregados argilo-ferruginosos. O leucoxênio/anatásio foi atribuído aos teores mais elevados em  $\text{TiO}_2$ , identificados em zonas de maior aluminização (bauxitização) e de intensa dessilicificação nas seções. Estas zonas pertencem aos topos das seções e/ou às paleossuperfícies caracterizadas no depósito.

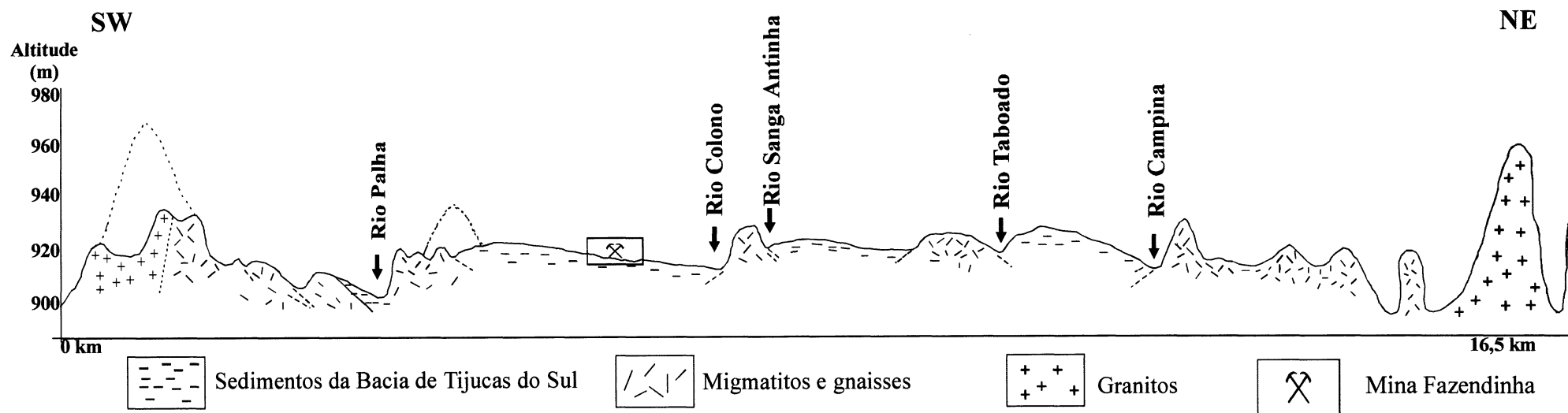
O acúmulo de sedimentos de composição essencialmente aluminosa e silicática é decorrente da erosão, transporte e deposição de material alterado provindo de rochas quartzo-feldspáticas, no caso, os gnaisses e migmatitos do embasamento e os granitos localizados nos seus arredores. O caimento na área que engloba a Bacia de Tijucas do Sul, relacionado à superfície de aplainamento regional, é para oeste. A localização de granitos batolíticos a sudeste, com altitudes de até 1400 m (Granito Morro Redondo), e a sudoeste e noroeste, com altitudes até 1200 m (Granito Agudos do Sul) favorecem o represamento dos rios e o acúmulo de sedimentos na região entre os mesmos (cujas altitudes não ultrapassam a 900 metros). Desse modo, o compartimento topográfico que aloja a bacia encontra-se embutido na superfície de aplainamento regional. Os gnaisses e migmatitos que se encontram embutidos entre o granitos, assim como a drenagem principal (rio da Várzea), apresentam orientação NW, acompanhando a antiga direção predominante do embasamento. Rochas do embasamento da bacia formam altos locais com direção NW. O rio da Várzea e seus afluentes

maiores dirigem-se para NW, (Figs. 1.2 e 1.3), na área da bacia, acompanhando o controle estrutural e o caimento geomorfológico regional.

As drenagens de primeira e segunda ordem que drenam a Bacia de Tijucas do Sul e alimentam os afluentes do rio da Várzea (Colono, Birituba e Taboado) são orientados predominantemente segundo N e NE e desenvolvem-se, em padrão nitidamente assimétrico, apenas na vertente sul destes rios. Disto se deduz que a superfície atual dos sedimentos da Bacia de Tijucas do Sul possui um mergulho para N a NE. Pelo menos duas hipóteses podem ser consideradas para explicar este fato:

- a) Os sedimentos encontram-se tectonicamente basculados para N e NE.
- b) Os sedimentos apresentam inclinação para N a NE que refletem a morfologia original do sistema deposicional. Considerando o sistema deposicional interpretado no item anterior, a segunda hipótese é a mais coerente. Em pelo menos três compartimentos foram observados mergulhos para NE, com aporte assimétrico de SW para NE. Como este caimento se repete nos três compartimentos maiores da bacia, de localização entre os altos estruturais, é possível interpretar que a área tenha sido submetida à uma neotectônica de escalonamento de blocos com mergulhos para NE. No escalonamento há uma elevação a SW. Para isto foi realizada a figura 5.3, que é o perfil SW-NE, com rebatimento dos pontos mais altos situados a uma distância menor que um quilômetro. Esta figura, mostra o escalonamento com mergulhos assimétricos da bacia e explica a textura subarredondada dos grãos de quartzo e a presença de fragmentos de feldspato pouco alterado em meio aos depósitos argilosos. As rochas fontes localizam-se próximas ao sítio deposicional e representam depósitos de fluxo de detritos.

À influência geomorfológica, acrescenta-se o fator climático, que na região caracteriza-se por um microclima, com influência direta de chuvas orográficas.



**Figura 5.3** - Perfil topográfico-geológico SW-NE, passando pela Mina Fazendinha, com rebatimento de altos topográficos situados a distância inferior a 1 km. Notar escalonamento de blocos do embasamento e mergulhos assimétricos das vertentes sobre sedimentos da Bacia de Tijucas do Sul.



### 5.3 – CORRELAÇÕES COM A BACIA DE CURITIBA

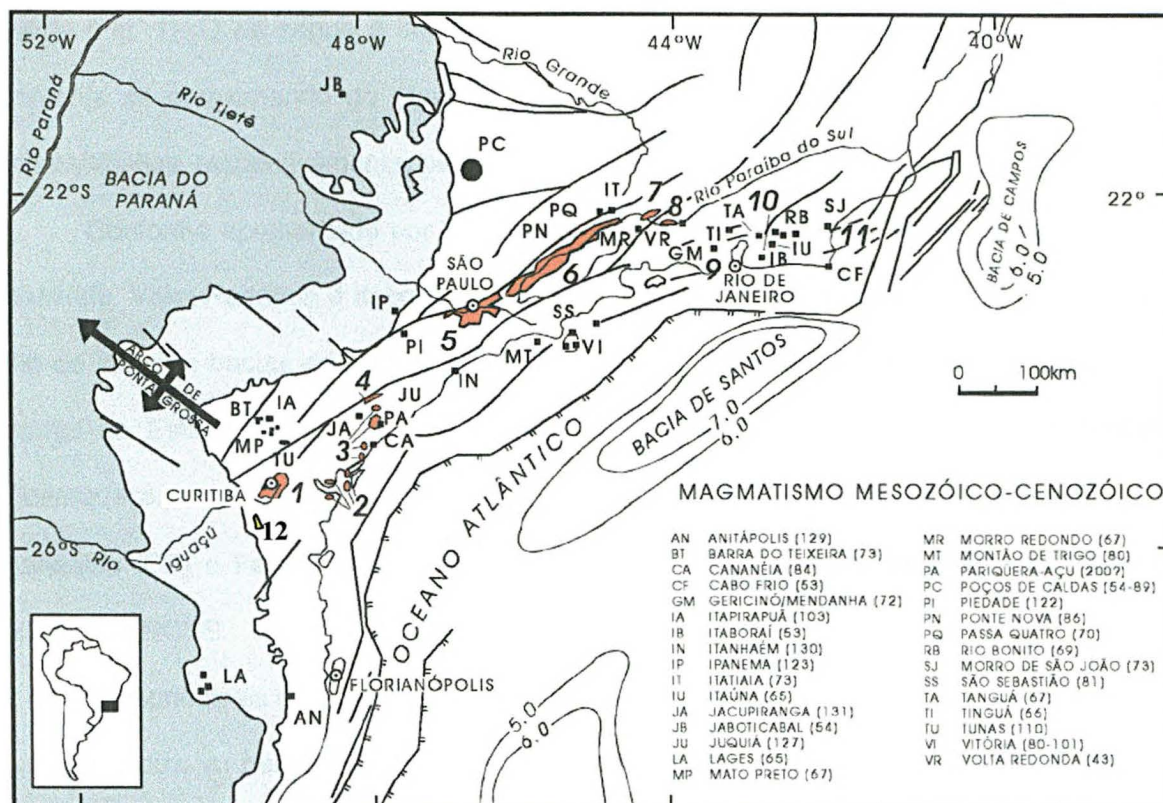
Pode-se dizer que existem diferenças marcantes, seja do ponto de vista composição dos sedimentos, seja do arcabouço geomorfológico e da situação climática, entre a Bacia de Curitiba (Formação Guabirotuba) e a Bacia de Tijucas do Sul. A Bacia de Tijucas do Sul aloja-se em compartimento isolado da Bacia de Curitiba (Figura 5.4), com características geomorfológicas e estruturais próprias, submetida a um microclima local específico de zona orográfica, com chuvas constantes e processos intensos de lixiviação.

Resumidamente pode-se dizer que: a) As fácies rudáceas, arenosas e conglomeráticas da Formação Guabirotuba, não foram encontradas na Bacia de Tijucas do Sul. b) As fácies de caliche, interpretadas como evaporitos continentais, também não estão presentes na Bacia de Tijucas do Sul. Em contraste, o que se observa nos sedimentos da bacia de Tijucas do Sul é uma concentração residual representada pelos nódulos de gibbsita, com gênese relacionada a condições de intensa lixiviação em clima úmido. c) A mineralogia da fração argila na Formação Guabirotuba é dominada por esmectita, em contraste ao predomínio de caulinita em Tijucas do Sul. d) A Bacia de Curitiba alinha-se segundo direção NE acompanhando o alinhamento do *Rift* Continental do Sudeste brasileiro (Almeida, 1967 e Riccomini, 1989). A Bacia de Tijucas do Sul, em contrapartida aloja-se em compartimento alongado segundo NW, podendo estar relacionada às superfícies neogênicas de Martonne (1943) (Figura 5.4).

### 5.4 - CARACTERÍSTICA DAS ARGILAS SOB O ASPECTO TECNOLÓGICO

As argilas da Mina Fazendinha apresentam cor clara (branca) após a queima, alta plasticidade e elevada resistência mecânica, de acordo com os parâmetros de materiais cerâmicos estabelecidos por Souza Santos & Souza Santos (1966) para argilas plásticas





- Embasamento pré-cambriano
- Rochas relacionadas ao vulcanismo da Formação Serra Geral
- Sedimentos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná
- Sedimentos terciários do RCSB
- Bacias do rift
- Sedimentos quaternários da Bacia de Tijuca do Sul

**Figura 5.4** – Quadro geológico e tectônico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil, segundo Melo *et al.* (1985) e Riccomini (*et al.*) 1996 *apud* Sant’Anna (1999). Bacias do rift: 1) Bacia de Curitiba, 2) Formação Alexandra e Graben de Guaraqueçaba, 3) Formação Pariquera-Açu, 4) Graben de Sete Barras, 5) Bacia de São Paulo, 6) Bacia de Taubaté, 7) Bacia de Resende, 8) Bacia de Volta Redonda, 9) Graben da Guanabara, 10) Bacia de Itaboraí, 11) Graben de Barra de São João e 12) Bacia de Tijuca do Sul.

brasileiras. Aumond (1993) relacionou estas propriedades em argilas de Tijucas do Sul, consideradas pelo autor como muito plásticas e de uso específico para cerâmica branca. A caulinita, a illita, o quartzo e a matéria orgânica compõem o quadro químico-mineralógico representativo do depósito Fazendinha. Esta composição, associada a fatores climáticos e físico-químicos do meio, atribuíram propriedades tecnológicas específicas às argilas de Tijucas do Sul, que garantem o seu aproveitamento industrial cerâmico, principalmente em cerâmica branca. O mesmo autor considera argilas de Tijucas do Sul, mais especificamente as do depósito Fazendinha, como similares às *ball clays*.

A baixa substituição isomórfica do Fe e Mg nas folhas octaédricas da caulinita afeta de forma mais efetiva algumas propriedades das argilas tais como, por exemplo, sua capacidade de troca de cátions (CTC). A (CTC) das argilas foi avaliada entre 8 e 23 meq/100g, compatíveis com depósitos caulínicos formados por predomínio de cristais com baixa cristalinidade associado a baixos teores em ferro e magnésio (Grim 1962 e 1968).

Segundo Grim (1962, 1968), a capacidade de troca de cátions (CTC) das argilas tem relação estreita com as propriedades plásticas do sistema argila+água, e um valor mais elevado do que o considerado normal deve-se à presença da matéria orgânica ou à presença da esmectita. Para Wilson (1983) as propriedades como resistência mecânica, plasticidade e tensão de ruptura à flexão (TRF) apresentam valores mais elevados quando há presença da esmectita e matéria orgânica do que de illita e matéria orgânica.

A esmectita, em pequenas quantidades, finamente dividida e homogeneamente distribuída, contribui para o aumento de propriedades físicas da plasticidade das argilas. A alta plasticidade associada à elevada resistência mecânica e cores claras após a queima, assemelham o material argiloso a uma *ball clay*. Os maiores e mais conhecidos depósitos de argilas *ball clays* encontram-se na Inglaterra e Estados Unidos e são considerados de grande valor econômico para a indústria cerâmica branca e de refratários.

No Brasil, as argilas de São Simão apresentam composição mineralógica e química que são, também, similares às *ball clays* estrangeiras, e foram consideradas como argilas *tipo ball clay* (Pressinoti, 1991).

As argilas de Tijucas do Sul apresentam composição mineralógica e química que são, também, similares às *ball clays* e são classificadas por Aumond 1993 como pertencentes a este grupo. De acordo com avaliação de dados obtidos para este trabalho, tais como composição mineralógica e química, dosagem da capacidade de troca catiônica e da matéria orgânica, estas argilas são muito similares às de São Simão, à exceção da presença constante de gibbsita e da ausência de esmectita, conforme quadros 5.2 e 5.3.

DEPÓSITOS	TEOR MÉDIO (%) – FRAÇÃO ARGILA			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Álcalis (K,Na,Li) O	TiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Ball clays</i> americanas	53,96	29,85	1,21	1,84
<i>Ball clays</i> inglesas (geral)				
Devon	60,02	26,78	2,58	1,76
Dorset	52,57	31,40	2,15	0,84
Argilas de S. Simão (SP)	50,64	32,57	0,48	0,91
Argilas de Tijucas do Sul (PR)	50,05	24,19	* 0,24	1,28

**Quadro 5.2** - Dados composicionais de argilas americanas, inglesas e brasileiras segundo Pressinotti (1991), comparados com valores obtidos para depósitos de Tijucas do Sul, através deste trabalho. \* Somente (K, Na)<sub>2</sub>O

DEPÓSITOS	VALORES NORMATIVOS - AMOSTRA TOTAL		
	Caulinita (%)	Ilita, esmectita (%)	Quartzo (%)
<i>Ball clays</i> americanas			
-Fm. Claiborne	47-72	0-29	4-35
-Fm. Wilcox	36-41	22-31	33-37
<i>Ball clays</i> inglesas			
-1ª qualidade	68-98	5-30	0-20
-2ª qualidade	38-68	15-48	10-45
Argilas de São Simão (SP)	61-89	2-5	4-29
Argilas de Tijucas do Sul (PR)	30-79	0,5-6 (ilita)	4-59

**Quadro 5.3** - Dados mineralógicos de argilas americanas, inglesas e brasileiras segundo Pressinotti (1991), comparados com valores obtidos para depósitos de Tijucas do Sul, através deste trabalho.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

A Bacia de Tijucas do Sul encontra-se nitidamente embutida em superfície geomorfológica com mergulho geral para oeste. Este compartimento insere-se provavelmente na superfície de aplainamento Sul Americana, definida por King (1956) como de idade cretácea-terciária. Desse modo, a máxima idade admissível para a Bacia de Tijucas do Sul coincide com o limite K-T. As características do preenchimento da bacia apontam porém para uma idade bem mais nova. A esse respeito, deve-se destacar, em primeiro lugar, a provável preservação do mergulho original dos leques aluviais. Esta característica vai ao encontro do baixo grau de dissecação dos leques quaternários, conforme detectado por Angulo (1992) no pé da serra do Mar paranaense. Em segundo lugar, cabe enfatizar a grande semelhança entre os depósitos da Bacia de Tijucas do Sul e os sedimentos do topo da Bacia de Curitiba (Formação Tingui de Becker, 1982 e Formação Piraquara de Coimbra *et al.* 1996), atribuídos ao Plioceno Superior a Piloceno Inferior.

O preenchimento da Bacia de Tijucas do Sul, representado pelos depósitos argilosos da Mina Fazendinha, foi subdividido em cinco fácies denominadas: fácies argila siltosa com turfa (ASt), fácies argila siltosa rica em nódulos e grânulos (ASgn), fácies argila siltosa pobre em nódulos e grânulos (AS), fácies argila (A) e fácies argila orgânica (Ao). Estas fácies apresentam atributos texturais, composicionais e geométricos que permitiram a caracterização de processos deposicionais eodiagenéticos de formação do depósito.

Os processos deposicionais, deduzidos da caracterização faciológica dos sedimentos, levaram em consideração os aspectos diagenéticos e o estágio de intemperismo químico dos componentes mineralógicos das fácies. O predomínio da deposição com caráter de fluxo de

detritos foi relacionado à formação de leques aluviais medianos e distais (com formação de lagos temporários nas franjas dos leques aluviais). Sedimentação em ao menos dois períodos diferentes, separados por épocas de dessilicificação e bauxitização, caracterizando paleossuperfícies.

A assembléia mineralógica é representada por caulinita, quartzo e ilita associada a teores de matéria orgânica, geralmente menos que 6% (dosagem de carbono total), com exceção de amostras das fácies ASt e Ao, em que foram registrados teores mais elevados (18 a 55%) . Nódulos de gibbsita e grãos de quartzo e feldspato concentram-se em várias posições do depósito, compondo as fácies argila siltosas com nódulos e grânulos.

A caulinita tem cristalinidade mal desenvolvida (diâmetro menor que 0,5 $\mu$ m, baixos índices de cristalinidade de Hinckley e predomínio de cristais com desordem no eixo b), embora tenha sido registrada ocorrência rara de placas maiores que 1 $\mu$ m organizadas face a face em “hábito de acordeon” (amostra TA-08, imagens 4.9 e 4.10).

O processo de hidrólise, comum em ambientes de intensa lixiviação, foi o responsável pela geração da gibbsita em vários horizontes do depósito, por meio da ação do intemperismo químico sobre rochas alumino-silicatadas (no caso sobre feldspato ou até mesmo sobre a caulinita). Os valores obtidos para a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) indicaram tratar-se de meio caulinizado e insaturado em cátions e bases trocáveis. (Melfi e Pedro, 1977). Os horizontes de maior aluminização indicados através do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , possuem também intensa dessilicificação e maior CTC. Estes níveis estão relacionados às paleossuperfícies caracterizadas no depósito.

Os componentes químicos, predominantemente representados por  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , relacionam-se à mineralogia aluminossilicática, caracterizada pela caulinita e pelo quartzo (este na fração silte). Baixos teores em  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  indicam presença menor da ilita,

clorita e/ou vermiculita. A ocorrência comum e muito variável do  $\text{TiO}_2$  indica presença de óxidos mais estáveis, cristalizados na forma de anatásio, conforme observado em imagem de MEV e análise química pontual (EDS). As concentrações de  $\text{TiO}_2$  relacionam-se diretamente às zonas dessilicificadas e aluminizadas (bauxitizadas), o que parece indicar que o  $\text{TiO}_2$  está em minerais detríticos (ilmenita/anatásio) concentrados em paleossuperfícies erosivas e bauxitizadas.

A mineralogia predominante, ou seja, caulinita, quartzo e ilita, sugere contribuições de rochas fonte ricas em silício e alumínio, provavelmente rochas gnáissicas migmatíticas do embasamento e granitos alcalinos bordejantes da bacia.

As propriedades tecnológicas descritas por Aumond (1993), como alta plasticidade, elevada resistência mecânica e cores claras ou branca após queima, refletem os dados químicos e mineralógicos obtidos neste estudo. Resultados tecnológicos e químicos mineralógicos desta natureza também foram obtidos para as argilas de São Simão, SP, e levaram à sua classificação como argilas tipo *ball clays* (Pressinotti, 1991). A autora, através de um estudo comparativo com argilas *ball clays* inglesas e americanas, obteve resultados muito similares entre estas argilas e as de São Simão. As argilas de Tijucas do Sul, na Mina Fazendinha, devido às notáveis similaridades com as argilas de São Simão (quadro 5.2 e 5.3), foram classificadas neste trabalho com argilas *tipo ball clay*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. & BIGARELLA, J. J. 1961. Superfícies aplainadas do Primeiro Planalto do paraná. *Bol. Paran. de Geogr.* 4/5, p.116-125.
- ALMEIDA, F. F. M. 1967. Origem e evolução da Plataforma brasileira. *Bol. DNPM/DGM*, 241, 36 p.
- ANGULO, R. J. 1992. *Geologia da planície costeira do Estado do Paraná*. São Paulo, 334 p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- AUMOND, J. J. 1993. Aspectos geológicos de algumas argilas para cerâmica branca da Bacia de Tijucas do Sul. *Cerâmica*, **39** (260): 24-26.
- BECKER, R. D. 1982. *Distribuição dos sedimentos cenozóicos na Região Metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfologia regional*. Porto Alegre, 237p. (Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- BIGARELLA, J.J.& SALAMUNI, R.1959. Notas Complementares  Planta Geológica da Cidade de Curitiba e Arredores, *Inst. Biol. Pesq. Tec.*, Bol. n40, 14 p., Curitiba.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; AB'SABER, A. N. 1961. Origem e Ambiente de Deposição da Bacia de curitiba. *Bol. Paran. De Geogr.* 4 - 5. P.71-81.
- BIGARELLA,J.J. & SALAMUNI,R. 1962. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. *Bol. Univ. Fed. Paraná, Geologia*, 7:1-164.
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (eds) 1980. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. London, Mineralogical Society, 495p.
- BROWN,G. 1972. *The X-Ray identification and crystal Structures of clay minerals*. 2<sup>nd</sup> ed, London, Mineralogical Society, 544p. (Clay Minerals Group)
- COIMBRA, A. M.; RICCOMINI, C. 1985. Considerações paleoambientais sobre as ocorrências de caliche nas bacias de Curitiba (PR), Taubaté (SP) e Resende (RJ). *Na. Acad. bras. Ciênc.*, **57**:517-518.
- COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; VALARELLI, J. V. 1996. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. *Anais*. Salvador, SBG/BA, v.1, p.135-137.

- EMBRAPA. 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro. 203 p. Centro Nacional de pesquisa de Solos).
- GIANNINI, P. C. F. 1993. *Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. São Paulo, 278 p. (Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo)
- GOMES, C. F. 1986. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa, Calouste Gulbekian, 457p.
- GRIM, R. E. 1953. *Clay Mineralogy*. New York, McGraw-Hill, 384 p.
- GRIM, R. E. 1962. *Applied clay mineralogy*. New York, McGraw-Hill, 442 p.
- GRIM, R. E. 1968. *Clay Mineralogy*. New York, McGraw Hill, 596 p.
- KELLER, W. D. 1978. Classification of kaolins exemplified by their textures in scan electron micrographs. *Clays and clay Minerals*, **26** (1):1-20.
- KING, L. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geogr.* **18** (2): 147-265. Rio de Janeiro.
- MARTONNE, E. 1943. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Rev. Bras. Geogr.*, v.5, n.4, p.523-550.
- MELFI, A. J. & PEDRO, G. 1977. Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil. Parte 1- Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. *Rev. Bras. Geoc.* **7**(4):271-286
- MELFI, J. & PEDRO, G. 1978. Estudo Geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2- Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.* **8**(1):11-22
- MELO, M.S. 1990. *A Formação Pariquêra-Açu e depósitos relacionados: sedimentação, tectônica e geomorfogênese*. São Paulo, 211p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- MELO, M. S. 1995. *A Formação Rio Claro e Depósitos Associados: Sedimentação Neoceno-zóica na Depressão Periférica Paulista*. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (inéd.). 4 mapas, 144 p.
- MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. (1986) Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia. *Anais*. Goiânia, SBG, v.1, p. 321-336.
- MIALL, A. D (1981) Analysis of fluvial depositional systems. AAPG Education Course Note Series, 20: 75 p.

- MURRAY, H. H. 1982. Clay resources of the Midwest states. *Mining Engineering*, **34** (1):68-71.
- O'BRIEN, N. R. & SLATT, R.M. 1990. *Argillaceous rock Atlas*. New York, Springer-Verlag, 141p.
- PHELPS, G.W. 1972. A química coloidal de argilas cerâmicas. *Cerâmica* **18** (69):3-16
- PRESSINOTTI, M.M.N. 1991. *Caracterização Geológica e Aspectos Genéticos dos Depósitos de Argilas Tipo "Ball Clay" de São Simão, SP*. São Paulo 141 p. (Dissertação de Mestrado, IG/IGUSP). (Inédito).
- READING, H.G. (1986). *Sedimentary environments and facies*. Oxford, Blackwell, 615 p.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M.; VALARELI, J.V. 1996. Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados (Paleógeno, Rift Continental do Sudeste do Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, **26** (3): 167-180.
- RICCOMINI, C. (1989). *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo, 256 p. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- SALAMUNI, E. 1998. *A Bacia Sedimentar de Curitiba e seu Contexto Geológico Regional*. Rio Claro (Exame de Qualificação apresentada à Universidade Estadual Paulista – UNESP).
- SANT'ANNA, L. G. 1999. *Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste Brasileiro*. 293 p. (Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- SHEPARD, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ration. *Journal of sedimentary Petrology*, **24**: 151-158
- SHOLLE, P.A. 1979. A colour illustred guide to constituents, textures, cements and porosities of sandstone and associated rocks. Tulsa, AAPG, 201p. (Memoir n. 28)
- SOUZA SANTOS, P. & SOUZA SANTOS, H. 1966. Desenvolvimento de argilas brasileiras para diversos usos tecnológicos. *Cerâmica* **11** (46): 53-71.
- SOUZA SANTOS, H. 1966. Microscopia eletrônica de argilas brasileiras utilizadas na indústria cerâmica de São Paulo. *Cerâmica* **12** (47/48):173-202.
- SOUZA SANTOS, P. & SANTINI, P. 1968. Efeito da matéria orgânica em algumas propriedades de argilas plásticas para cerâmica branca. *Cerâmica* **14** (53):197-205.
- SOUZA SANTOS, P. & CRUZ, P. E. N. 1971. Áreas específicas de algumas argilas plásticas brasileiras usadas em cerâmica branca. *Cerâmica* **17** (66): 162-169.

- SOUZA SANTOS, P. 1989. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo, ed. Edgard Blücher Ltda. 3 vol.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher – Edusp. 317 p.
- SUGUIO, K. 1980. *Rochas sedimentares*. São Paulo, Edgard Blücher. 500 p.
- TREIN, E.; FUCK, R.A. E MURATORI, A. 1969. Geologia da Folha de Tijucas do Sul. Comissão da Carta Geológica da Paraná, Curitiba. Relatório anexo.
- WALKER, R. G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (editor), *Facies Models: response to sea level change*. Hamilton, Geological Association of Canada, p.1-14
- WELTON, J. E. 1984. SEM Petrology Atlas. (Methods in Exploration Series). Tulsa, AAPG, 237p.
- WENTHWORT, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol., **30**:377-392.
- WILSON, W. E. 1983. “ Ball clays” inglesas: origens, propriedades e usos em cerâmica. *Cerâmica*, **29** (165): 217-238.